

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Forstverein
<b>Band:</b>	76 (1925)
<b>Heft:</b>	4
<b>Artikel:</b>	Die Wanderung der Schatten im Walde
<b>Autor:</b>	Kopp, R.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-767851">https://doi.org/10.5169/seals-767851</a>

### 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:** 08.02.2026

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

# Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen

Organ des Schweizerischen Forstvereins

76. Jahrgang

April 1925

Nummer 4

## Die Wanderung der Schatten im Walde.

Von R. Kopp, ehemaliger Assistent der Eidgen. forstlichen Versuchsanstalt.

Die Intensität des von den Baumkronen filtrierten, resp. gesiebten Lichtes kann nur mittels direkter Messung einwandfrei festgestellt werden.<sup>1</sup> Handelt es sich hingegen darum, den Einfluß dichter Nadelholzkronen auf die Insolation des Bodens zu studieren, so leistet auch eine mathematische Behandlung des Problems gute Dienste. Faßt man nämlich die Baumkrone (Fichte, Tanne) als undurchsichtigen Körper auf, so kann ihr Schlagschatten bei irgendwelcher Neigung und Exposition der Bodenfläche und für jeden Zeitpunkt durch Rechnung oder Konstruktion gefunden werden.

Die Zu- und Abnahme der Beschattung des Waldbodens und des anstoßenden offenen Landes fällt besonders dann auf, wenn man sich längere Zeit im Innern desselben Bestandes aufhält und Gelegenheit hat, die „Kinematographie“ der Schatten zu betrachten. In der forstlichen Literatur findet man daher häufig Anspielungen auf dieses Phänomen. So enthält z. B. die „Denkschrift“ des Schweiz. Forstvereins vom Jahre 1918<sup>2</sup> nachfolgende Aussprüche:

Seite 21. „Die Ungleichaltrigkeit und die damit verbundene Stufigkeit der Bestände erhöht noch mehr deren Widerstandskraft gegen äußere Gefahren, regt durch das wechselvolle Einfallen des Tageslichtes die Massenproduktion an, erleichtert die Gründung und Erziehung von Mischwuchs und übt einen wohlütigen Einfluß auf den Zustand des Bodens aus.“

Seite 25 (Biolley): „Der Fachmann, der berufen ist, einen Wald zu behandeln, muß der Spezialist sein, der in jedem Bestand Wärme, Licht und Feuchtigkeit reguliert, welcher das dem Zuwachs günstigste Verhältnis herstellt und unterhält, . . .“

Seite 30 (betreffs Behandlung der Altbestände): „Die Schaffung und Erhaltung der für den Lichtungszuwachs, für die Samenerzeugung, für die Keimung und Entwicklung der verschiedenen Holzarten zuträglichsten Verbindung wechselt der Lichtenzahlen, wechselnder Temperatur und Feuchtigkeit . . .“

<sup>1</sup> Vgl. hierüber: Dr. Knuchel, Spektrophotometrische Untersuchungen im Walde. Mitteilungen der Schweizer. Zentralanstalt für das forstliche Versuchswesen. XI. Band, 1. Heft. Zürich 1914.

<sup>2</sup> „Die Produktionssteigerung der schweizerischen Forstwirtschaft, eine nationale Pflicht“.

Die nachfolgend in kurzen Zügen beschriebenen Studien über die Wanderung der Schatten sind einer Anregung von Prof. Dr. Engler entsprungen. Das Verfahren erinnert in gewissem Sinne an die Konstruktion der Sonnenuhren. Es gibt uns Aufschluß über:

1. die Größe der von einem Baum beschatteten Bodenfläche;
2. die Fläche, welche der Baumshatten im Laufe des Tages bestreicht;
3. die Zeitdauer der Beschattung einer bestimmten Bodenstelle.

Alle diese Erscheinungen sind für den Landwirt wichtig im Hinblick auf die Beschattung der Wiesen durch Obstbäume. Wenn wir aber eine Anzahl Waldbäume zum Bestand verbinden, so gelangen wir mitten in die waldbauliche Interessensphäre.

Da die Wanderung der Schatten von der scheinbaren Bewegung der Sonne abhängt, beginnen die Untersuchungen mit der Berechnung des Sonnenstandes zu bestimmten Tageszeiten. Der Sonnenstand wird ausgedrückt durch die beiden Winkel: Höhe und Azimut. Da sich die Neigung der Horizontebene zur Äquatorebene mit der geographischen Breite des Beobachtungsortes verändert, so gehen die Tageskurven der Sonne am Himmel in verschiedenen Breiten verschieden hoch. Anderseits spielt auch die geographische Länge des Ortes eine Rolle, wenn die Zeit in Sonnenzeit z. B. in mitteleuropäischer Zeit ausgedrückt wird.

Um die Untersuchung zu vereinfachen, wurde sie nur auf unser Land und einen Punkt mit  $47^{\circ}$  nördlicher Breite und  $8^{\circ} 30'$  östlicher Länge von Greenwich bezogen.

Die Sonnenhöhe ( $h$ ) wird berechnet nach dem Ausdruck:

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t.$$

Die Deklination  $\delta$ , d. h. die Höhe des Gestirns über der Himmelsäquatorebene, ändert sich in bestimmter Weise im Laufe des Jahres und hat jedes Jahr am gleichen Datum nahezu den gleichen Wert. Die Schaltordnung des gregorianischen Kalenders bedingt eine in vierjähriger Periode verlaufende Verschiebung der Zeitrechnung; demzufolge treffen die vorliegenden Untersuchungen für die Jahre 1918, 1922, 1926 usw. praktisch genau und für die anderen Jahre mit genügender Annäherung zu. Der Ordinate  $\delta$  entspricht die Abszisse  $t$ , genannt: Stundenwinkel in wahrer Sonnenzeit (W. S. Z.). Die Umrechnung der mitteleuropäischen Zeit (M. E. Z.) auf W. S. Z. geschieht nach der Beziehung W. S. Z. = M. E. Z. —  $26'$  — Zeitgleichung.  $\varphi$  bezeichnet die geographische Breite.

Das Azimut der Sonne ( $w$ ) wird berechnet mit Hilfe der Gleichungen

$$\cotg \frac{v - w}{2} = \frac{\cos \frac{1}{2}(\varphi - \delta)}{\sin \frac{1}{2}(\varphi + \delta)} \cotg \frac{1}{2} t$$

$$\cotg \frac{v + w}{2} = \frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi - \delta)}{\cos \frac{1}{2}(\varphi + \delta)} \cotg \frac{1}{2} t$$

t und v erscheinen dabei als diejenigen Winkel im sphärischen Dreieck Pol — Zenith — Sonne, welche dem Außenwinkel w gegenüberliegen. Das Azimut der Sonne wird im Sinne der täglichen Bewegung positiv, im umgekehrten Sinne negativ gerechnet. Abbildung 1 zeigt nun die Resultate der trigonometrischen Rechnungen dargestellt in Zylinderprojektion. Das Azimut für Sonnenauf- und -untergang wurde kontrolliert auf Grund der Beziehung  $\cos w = \frac{\sin \varphi \sin h - \sin \delta}{\cos \varphi \cos h}$ ; für  $h = 0$  reduziert sich dieselbe auf  $\cos w = -\frac{\sin \delta}{\cos \varphi}$ . Das Dämmerungsphänomen ist in der Zeichnung angedeutet durch schattierte Zonen.

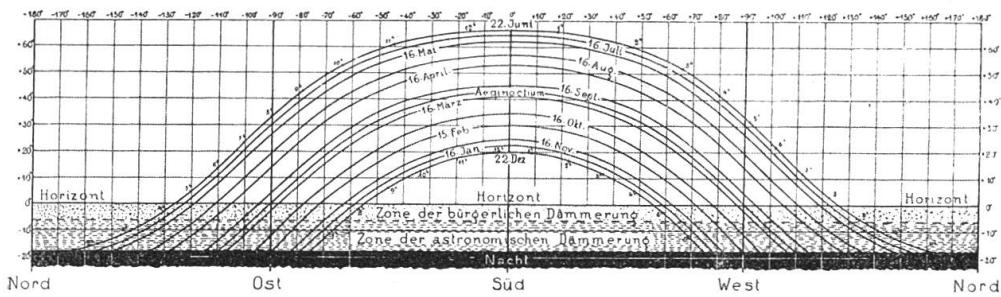


Abb. 1. Tagbogen der Sonne

in den Monatsmitteln, bezw. am kürzesten Tag (22. Dezember, Kulmination bei  $19^{\circ} 36'$ ), am längsten Tag (22. Juni, Kulmination bei  $66^{\circ} 27'$ ) und zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen (Aequinoctium) 21. März (Kulmination bei  $43^{\circ} 3'$ ) und 23. September (Kulmination bei  $43^{\circ} 9'$ ). — Standort  $47^{\circ}$  nördliche Breite,  $8^{\circ} 1/2$  östliche Länge. — Refraktion berücksichtigt.

Mit vorstehenden Ausführungen ist eine Grundlage der Untersuchung gegeben: die Kenntnis der Richtung der Sonnenstrahlen. Die andere besteht in der Bestimmung der Baumform. Zu diesem Zweck wurde ein Mittelwert nach der schweizerischen Ertragstafel gewählt mit folgenden Elementen: Fichte Gebirge III. Bonität; Alter 80; Scheitelhöhe 22,5 m (geometrisches Mittel); Kronenansatz bei 13,1 m; größte Kronenbreite 2,8 m bei 16,1 m Höhe; Stammdurchmesser 23,4 cm; Quadratverbandabstand 2,85 m. Die nach diesen Maßen konstruierte schematische Kronenform ist stereometrisch als Doppelkegel zu betrachten. Abbildung 2 zeigt in der Mitte diese Fichte im Aufriss.<sup>1</sup> Der Schlagschatten der vertikalen Schnittfigur auf der Horizontebene wird mittels der durch die Spitze und den Kronenansatz gehenden Sonnenstrahlen konstruiert. Die Schattenprojektionen des gemeinsamen Basiskreises der beiden Kegel, welcher dem größten Kronendurchmesser entspricht, ergeben stets Ellipsen, aber mit verschiedenem Achsenverhältnis. Die Tangenten von den Schattenpunkten der Spitze und des Kronenansatzes an diese Ellipsen ergänzen den Umriss der Schattenfigur. Die vorliegenden Darstellungen be-

<sup>1</sup> Eine detaillierte Beschreibung des weiteren Konstruktionsganges würde zu viel Raum in Anspruch nehmen, weshalb hierüber nur Andeutungen gemacht werden können.

ziehen sich auf den längsten Tag. — Um den Aufriß des Baumes und die Schattenfiguren auf der horizontalen Bodenfläche in die gleiche Zeichnung aufnehmen zu können, wurde hier Norden nach unten verlegt; der Standpunkt des Beobachters befindet sich also nördlich vom Baum.

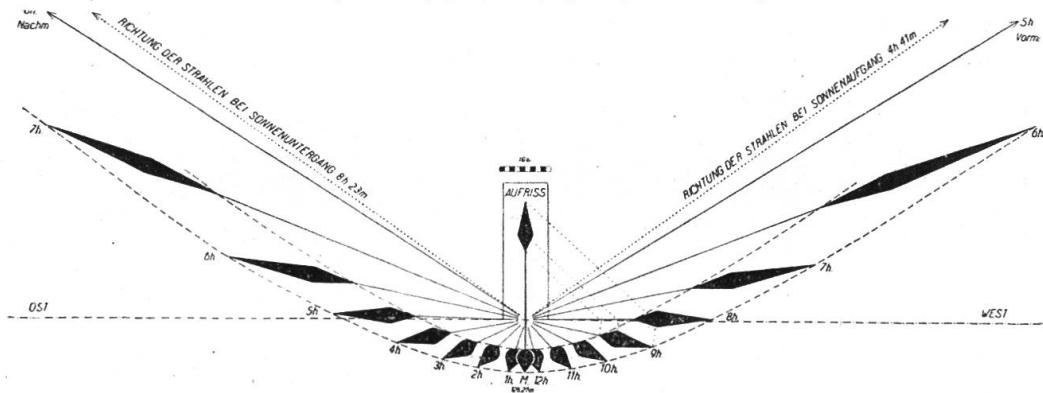


Abb. 2. Schattenwanderung auf der Horizontebene.

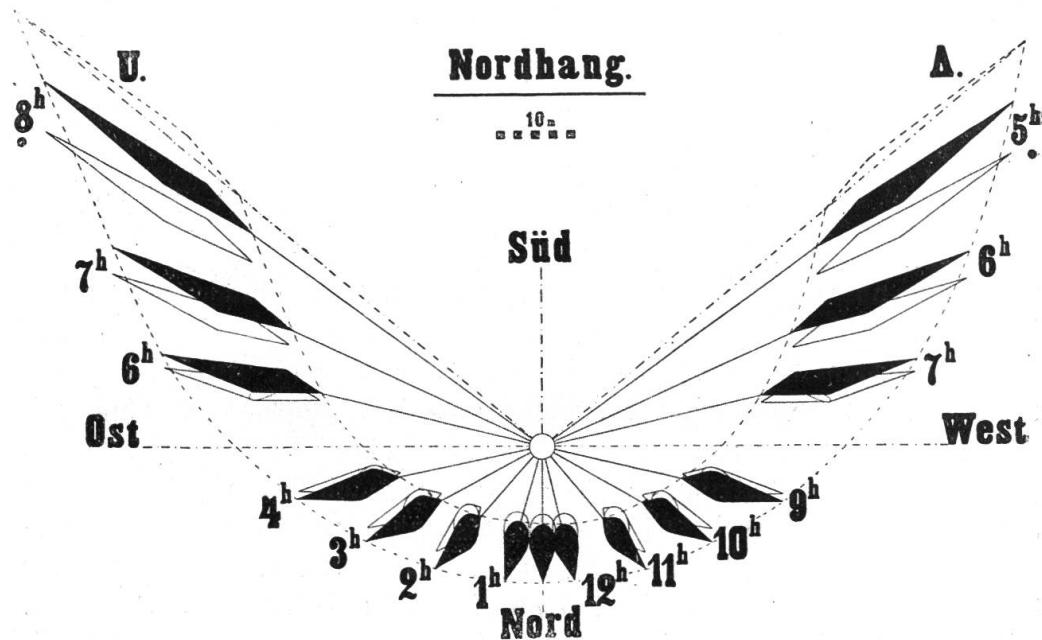


Abb. 3. Schattenwanderung am steilen Nordhang.

Die nächstliegende Aufgabe besteht nun in der Konstruktion der Schlagschatten auf Bodenflächen, die nach den Haupt-Expositionsrichtungen geneigt sind. Ein Beispiel hierfür bietet Abbildung 3, welche sich auf einen „steilen“ Nordhang von  $30^\circ = 57,7\%$  Neigung bezieht. Bei der Konstruktion erhält man hier sowohl die wahre Größe der Schlagschatten auf der geneigten Bodenfläche (die schwarz gefüllten Figuren) als auch deren Horizontalprojektionen (die ungefüllten Umriffe); die entsprechenden Schattenfiguren sind affiniert. Die Schnittgerade der

beiden Ebenen (Ost-Westlinie) ist Affinitätsachse. — Die beiden Abbildungen 2 und 3 zeigen zunächst, welche bedeutende Veränderung der Schatten einer Krone im Laufe des Tages bezüglich Form und Ausdehnung erfährt. Am Nordhang z. B. misst die Längsachse um Mittag 6,6 m und wächst dann gegen Abend bis auf 33 m; weit mehr noch übertreffen dieses Maß „der Bäume gigantische Schatten“ auf der Horizontalebene. In absoluter Größe erfahren die Schattenflächen bei den dargestellten Flächen am längsten Tag folgende Variationen:

Zeit	Ebene	Nordhang
5 Uhr morgens		42,8 m <sup>2</sup>
6 "	61,1 m <sup>2</sup>	37,1 "
7 "	33,7 "	30,7 "
8 "	21,4 "	25,4 "
9 "	15,9 "	20,5 "
10 "	11,9 "	16,6 "
11 "	9,4 "	13,6 "
12 "	8,2 "	12,1 "
Mittag W. S. Z.	7,9 "	11,9 "
1 Uhr	8,3 "	12,2 "
2 "	9,6 "	13,8 "
3 "	12,0 "	16,8 "
4 "	16,1 "	20,8 "
5 "	21,6 "	25,7 "
6 "	34,0 "	31,1 "
7 "	61,5 "	37,5 "
8 " abends		43,2 "

Die vom Schatten des Einzelbaumes während des ganzen längsten Tages bestrichene Bodenfläche am steilen Nordhang beträgt 17,6 Ar. Die Grenzen dieser Schattenzone sind in der Darstellung markiert durch gestrichelte Kurven. Die Zeit, während welcher eine bestimmte Bodenstelle innerhalb dieser Zone beschattet wird, ist natürlich am kleinsten für die nahe an den Rändern liegenden Punkte und größer gegen die Mitte der Schattenzone. Hier beträgt die Beschattungszeit z. B. am Nordhang um Mittag 24 Minuten, abends 8 Uhr dagegen nur noch 13,5 Minuten. Die Schattenfiguren sind am Abend zwar breiter, doch ist ihre fortschreitende Bewegung dann 2—3 mal rascher als um Mittag. Aus der Darstellung der Schattenwanderung am Nordhang ist anderseits auch die Tatsache ersichtlich, daß nördlich exponierte Hänge während der Vegetationszeit morgens und abends unter günstigem Winkel von den Sonnenstrahlen getroffen werden, indem das Azimut der Sonne um die Zeit des längsten Tages weit über den Ost- und Westpunkt gegen Norden ausgreift (vgl. Abb. 1). Für den Südhang speziell findet dann der Sonnenaufgang bedeutend später, der Untergang viel früher statt als für den Nordhang.

SCHATTENWANDERUNG AUF DER EBENE  
FICHTE GEBIRG III. BON - LÄNGSTER TAG - 47° Br. 84° L.

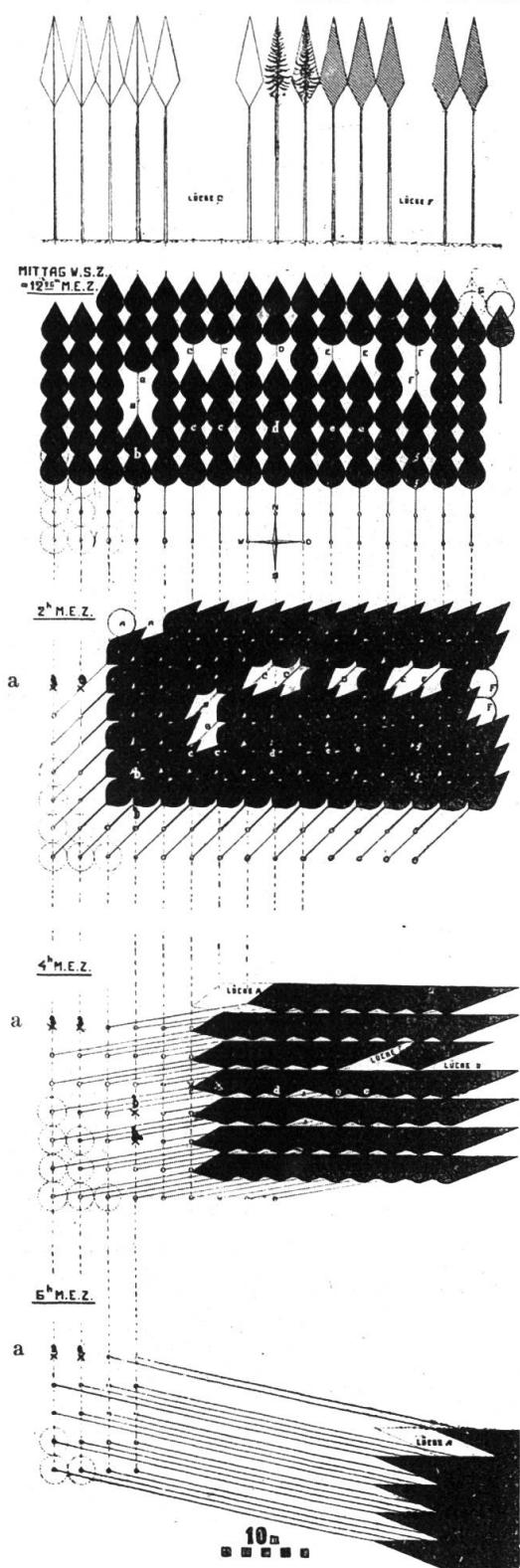


Abb. 4.

Die vorliegende Darstellung der Schattenfiguren entspricht den natürlichen Verhältnissen nur annähernd und es sind daher alle Zahlenangaben als Mittelwerte zu betrachten. Die Modifikation dieser schematischen Figuren in der Natur röhrt von der Unregelmäßigkeit der Kronenform, der Ausdehnung der Lichtquelle und den Beugungerscheinungen her. In bezug auf die Lichtquelle ist folgendes zu bemerken: Der scheinbare Sonnendurchmesser beträgt durchschnittlich 32 Bogenminuten. Dementsprechend divergieren die Randstrahlen jenseits des schattenwerfenden Gegenstandes, und man hat also genau genommen zu unterscheiden zwischen Kern- und Halbschatten. Der Abstand der beiden Schattengrenzen misst bei einer Distanz zwischen Baumkrone und Schattenfigur von 10 m: 9 cm, bei 50 m: 46 cm, bei 75 m: 70 cm. Für die vorliegenden, verkleinerten Darstellungen wurde die schmale Halbschattenzone außer acht gelassen; die Flächenangaben beziehen sich ebenfalls auf die Mittellinie zwischen Kern und Halbschattengrenze.

Abbildung 4 zeigt nun weiter die Anwendung der schematischen Schattenkonstruktion auf den Bestand; als Beispiel ist wiederum die Schattenwanderung am längsten Tag auf der Ebene gewählt, und bezüglich Baumform und geografischen Standort gelten die früheren Voraussetzungen. Die Darstellung beschränkt sich des Raumes wegen auf eine isolierte Gruppe von 112 Fichten. Nehmen wir dieses regelmäßige Beständchen zunächst als ge-

schlossen an, so ist in Abbildung 4 aus der obersten Schattenkombination von 12<sup>26</sup> M. E. Z. folgendes ersichtlich. Am Südrande wird ein Bodenstreifen von  $5\frac{1}{2}$  m Breite nur von den Schatten der Stämme betroffen. Nordwärts davon, und bis  $5\frac{1}{2}$  m über den Nortrand des Bestandes hinaus, ist in diesem Falle 81,5 % der Fläche beschattet. Schon um 2 Uhr erhält dann auch am Westrande des Bestandes ein ebenfalls  $5\frac{1}{2}$  m breiter Streifen fast volle Insolation, während im Innern des Waldes nur noch 2 % der Bodenfläche von der Sonne beschienen wird. Zu dieser Zeit ergänzen die Einzelschatten einander mosaikartig zu einer fast kompletten Schattenfläche. Gegen 4 Uhr werden die „Sonnenflecken“<sup>1</sup> wieder etwas größer, um dann aber gänzlich zu verschwinden, indem die Einzelschatten immer mehr zusammenfallen. Sehen wir voraus, daß die Randbäume gleiche Kronenform besitzen wie die Bäume im Bestandesinnern, so scheint die Sonne um 4 Uhr unter den Kronen durch bis zu 17 m in den Bestand hinein, und um 6 Uhr bis zu 39 m. Man kann danach beurteilen, wie stark ein sogenannter Waldmantel die Insolation der Randzonen herabsetzt.

Die schematischen Figuren in Abbildung 4 zeigen ferner einige größere „Sonnenflecken“, herrührend von Lücken, die entstanden sind durch Ausheib von Bäumen in verschiedener Stellung und Zahl. Das Fehlen des Einzelstammes d bedingt den „Sonnenfleck“ D. Nach Ausheib von zwei Stämmen b, b oder f, f in Nord-Süd-Richtung nebeneinander, entsteht die von der Sonne beschienene Figur B, resp. F. Durch Wegnahme der Stämme a, a oder c, c oder e, e in der Richtung West-Ost nebeneinander wird der Flecken A, resp. C, resp. E geschaffen. Auch diese von Bestandeslücken herrührenden Sonnenflecken verändern sich in Form und Ausdehnung im Laufe des Tages ziemlich rasch. Im allgemeinen ergibt sich, daß eine Lücke, deren Längsachse in der Meridianrichtung verläuft, weniger Bodenfläche der Insolation zugänglich macht als eine Lücke, die sich in der Parallelkreisrichtung erstreckt. Die Bahnen, welche die Sonnenflecken im Laufe des Tages verfolgen, sind analog den Kurven, welche die Kronenschatten einzelner Bäume beschreiben (Abb. 2 und 3).

Bei den vorliegenden schematischen Darstellungen ist die Krone als undurchsichtiger Körper angenommen. Berücksichtigen wir nun noch den Umstand, daß selbst bei dichten Kronen die Sonne durch enge Lücken zwischen den Zweigen durchscheint, so ist begreiflich, daß die Schlagschatten nicht homogen, sondern wechselnd intensiv oder, wie man sagt, verschieden „tief“ erscheinen. Fallen nun aber mehrere Schlagschatten zusammen, wie dies im Bestande insbesondere am Morgen und am Abend der Fall ist (Abb. 4, 4 Uhr und 6 Uhr), so verschwinden die Unterschiede in der Tiefe des Schattens sehr rasch, und es herrscht daher um diese Tageszeit im Be-

<sup>1</sup> im forstlichen Sinne des Wortes (besonnte Flächen).

stand ein erheblich dichterer Schatten als am Mittag. — Ferner sind Ungleichheiten in der Tiefe des Waldschattens, sowie eine allgemeine Abschwächung desselben zurückzuführen auf das durch Lücken aller Art einfallende diffuse Seiten- und Zenitlicht. Letzteres wird nach Dr. Knochel<sup>1</sup> in schwach durchforsteten Fichten- und Tannen-Altholzbeständen unter den Berührungsstellen der Kronen durchschnittlich auf 13 % der auffallenden Lichtstärke abgeschwächt.

Auf den von der Sonne direkt beschienenen Flächen und Flecken des Waldbodens variiert die Beleuchtungsstärke ebenfalls bedeutend; sie ist aufzufassen als das Produkt einer Reihe astronomisch-geographischer und physikalisch-meteorologischer Faktoren. Erstere bedingen die Größe des Aufallwinkels der Sonnenstrahlen, letztere die Intensität und Häufigkeit des Sonnenscheins.

## Forstmeister Kasthofer und seine Zeit.

Von R. Balsiger, p. Forstmeister.

(Schluß.)

In politischer Tätigkeit sehen wir Kasthofer anfänglich bei den Oberländer Unruhen im Jahre 1814, als angesehene Bürger des Amtsbezirks Interlaken vom Oberamtmann aus Verdachtsgründen verhaftet worden waren, und deshalb bewaffnete Zusammenrottungen stattfanden. Damals trat er als Vermittler auf und half die zum Aufruhr Treibenden beruhigen; nachher aber ließ er eine Abhandlung über die Gründe des Aufstandes in einer ausländischen Zeitschrift erscheinen, die ihm seitens der Regierung keine Anerkennung eintrug (Lebensabriß). Den Schutzvereinen für Aufrechterhaltung der Ordnung im Kanton und in den Bezirken gesellte er sich zu, ebenso war er Mitglied des Nationalvereins und der Helvetischen Gesellschaft, die einen festen eidgenössischen Bund anstrebten. Lebhaften Anteil nahm er ferner an der Verfassungsbewegung von 1830/31, wobei er zum Mitglied des Verfassungsrates und seiner vorberatenden Kommission gewählt wurde; zwei seiner Reden kamen zur Verbreitung durch den Druck. Im neubestellten Grossen Rat erschien er wieder als Vertreter des Oberlandes und trat dort der radikalen Partei bei.

Obwohl Kasthofer als eifriger Parteimann die 1830er Bewegung aus allen Kräften unterstützt hatte, ging er doch in den einzelnen politischen Fragen gerne seine eigenen Wege und nahm dabei eine Stellung ein, die man

<sup>1</sup> loc. cit.

Abkürzungen: L. = Der Lehrer im Walde; W. A. = Wälder und Alpen des bernischen Hochgebirgs; R. S. = Reise über den Susten, Gotthard, Bernhardin, Oberalp, Furka und Grimsel; R. B. = Reise über den Brünig, Pragel, Maloja, Spülgen.