

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes Rübel in Zürich
Herausgeber: Geobotanisches Institut Rübel (Zürich)
Band: 23 (1948)

Artikel: Die Pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt : eine vergleichend ökologische Untersuchung
Autor: Lüdi, Werner
Kapitel: VI: Das Klima
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-307633>

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: 21.02.2026

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

Assistent W. Büttiker von der Eidgenössischen Technischen Hochschule hatten die Freundlichkeit, unser gesammeltes Insektenmaterial zu bestimmen und stellten fest: *Acryptera fusca* und *Decticus verrucivorus* L.

Ohne Zweifel wäre eine für die verschiedenen Pflanzengesellschaften vergleichend ausgeführte Untersuchung der über der Bodenoberfläche lebenden Fauna, die sich vor allem aus Insekten zusammensetzt, sehr interessant gewesen. Franz (1943) hat damit in den Ostalpen bemerkenswerte Ergebnisse erzielt, wobei er zum Schluß kam, daß Tier- und Pflanzenassoziationen sich nicht entsprechen, die Tiergesellschaften im allgemeinen viel weniger spezialisiert seien.

VI. Das Klima

a) Das Allgemeinklima des Schinigeplattegebietes

Um eine richtige Grundlage für unsere Darstellung der mikroklimatischen Verhältnisse in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartengebietes zu erhalten, wollen wir zuerst an Hand unserer Messungen und Beobachtungen das Allgemeinklima betrachten. Die Hauptzüge des Klimas in unserem Untersuchungsgebiet ergeben sich aus seiner Lage in den nördlichen Alpen, die durch ihre feuchtkühlen Sommer ausgezeichnet sind. Besonderheiten sind aber doch zu erwarten, vor allem infolge der sehr bemerkenswerten Lage der Schinigeplatte im allgemeinen und des Alpengartens im besonderen, die in der geographischen Orientierung geschildert worden ist. Neben den klimatischen Messungen in den einzelnen Pflanzengesellschaften wurden deshalb in den Jahren 1931—1934 auch allgemein klimatisch gerichtete Untersuchungen vorgenommen. Diese beschränkten sich auf die Zeit, während der das Alpengartenhaus geöffnet war und als Stützpunkt dienen konnte, also von anfangs oder Mitte Juni bis Ende September oder anfangs Oktober. Diese Zeitspanne umfaßt annähernd die ganze Vegetationszeit (vgl. S. 63).

Zur Messung gelangten die Lichtstrahlung, die Schattentemperaturen, die relative Luftfeuchtigkeit, die Niederschlagsmenge, die Taubildung. Wir beobachteten außerdem die Bewölkung, die Son-

nenscheindauer, die Winde, die Nebelhäufigkeit, die Reifbildung. Im nachfolgenden bringen wir die Ergebnisse, wobei wir mit den umliegenden Stationen der Eidgenössischen Meteorologischen Zentralanstalt vergleichen, insbesondere mit Beatenberg, das in 12 km Entfernung 1150 m ü. M. am Südhang der Niederhornkette hoch über dem Thunersee liegt, mit Interlaken, in der Ebene des Bördeli, 595 m ü. M., ca. 6 km entfernt, und mit Bern, 50 km nordwestlich der Schinigeplatte, mitten im Molasseland und 570 m ü. M. gelegen. Alle drei sind alte Stationen. Näheres über die verwendeten Instrumente findet sich bei der Besprechung der mikroklimatischen Messungen.

Zur allgemeinen Orientierung geben wir zuerst eine kurze Darstellung des allgemeinen Witterungscharakters in den Sommern 1931—1934 nach den Angaben in den Annalen der Eidgenössischen Meteorologischen Zentralanstalt (W. Brückmann). Im Jahre 1931 war der Juni, in dem wir noch keine Messungen ausführten, warm, sonnig und mäßig trocken. Im weiteren Verlaufe des Sommers verschlechterte sich die Wetterlage. Schon der Juli war kühl, reich an Bewölkung und Niederschlag, der August unerfreulich, gekennzeichnet durch eine außerordentlich hohe Zahl von Regentagen, der September kalt, mit einem Temperaturdefizit von 4 bis 5°. — 1932 war der Juni kühl, stark bewölkt; aber die Niederschläge lagen vorwiegend unter dem Mittel. Der Juli blieb kühl und trüb und war naß. Dann besserte sich die Wetterlage in hervorragender Weise: der August war hell, warm und trocken, in den höheren Berglagen der wärmste, meteorologisch genauer beobachtete August. Ihm folgte ein ausgezeichnete September, der im höheren Gebirge einen Temperaturüberschuß von 3—3,5° aufwies. — 1933 waren Mai und Juni trüb, regnerisch, mit Ausnahme der ersten Juniwoche, in der wir noch nicht beobachten konnten; Juli und August waren heiter, warm und relativ trocken; auch der September war mild, wies aber doch eine ziemlich starke Bewölkung auf, während die Niederschläge annähernd normal blieben. — 1934 war als Ganzes für die Nordseite der Schweizer Alpen das wärmste Jahr seit langen Zeiten. Doch wurde diese Vorzugsstellung vor allem hervorgerufen durch die Monate April, Mai und Dezember, die also für die Vegetation unseres Gebietes nicht ausschlaggebend in Betracht fallen. Der Juni erzeugte sich als annähernd normal, der Juli als hell, warm und trocken, der August als wesentlich unter normal, der September als mild, heiter und trocken.

Die meteorologischen Beobachtungen auf der Schinigeplatte, wie sie im folgenden dargestellt sind, spiegeln den vorstehend skizzierten Verlauf der Witterung.

1. *Bewölkungsverhältnisse*

In den vier Sommern 1931—1934 wurde auf der Schinigeplatte dreimal täglich, zur Zeit der Terminablesungen, die Bedeckung der sichtbaren Himmelsfläche nach Prozent geschätzt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 39 und in Abb. 44 zusammen-

gestellt. Es zeigt sich, daß der Gang der Bewölkung im Laufe des Tages einer deutlichen Gesetzmäßigkeit folgt. Die Bewölkung ist am Morgen am kleinsten, nimmt gegen Mittag zu und erreicht am Abend den Höchstwert. Dies gilt für die Mittelwerte aller vier Sommermonate. Doch ist die Bewölkungszunahme vom Morgen zum Mittag wesentlich größer, als vom Mittag zum Abend. Ein einziger Beobachtungsmonat (September 1931) weist im Mittelwert um die Mittagszeit eine um 1 % niedrigere Bewölkung auf als am Morgen, während abendliche Aufhellung so häufig vorkommt, daß sie sich wiederholt auch in den monatlichen Mittelwerten ausprägt. Im Vorsommer (Juni/Juli) sind die täglichen Unterschiede wesentlich größer als im Hochsommer—Herbst

TABELLE 39

Bewölkungsverhältnisse auf der Schinigeplatte in den Sommern 1931/1934.

Jahr und Monat		Mittlere Bewölkung in %				Zahl der Tage			
		7 1/2 h	13 1/2 h	21 1/2 h	Mittel	hell Bewölk. < 20 %	trüb Bewölk. > 80 %	mit Nebel	annä- hernd wolkenlos
1931	VII.	46	57	70	58	8	12 (11)	14 (13)	3
	VIII.	59	65	72	65	6	14	12	2
	IX.	61	60	62	61	6	15	12	3
1932	VI.	54	64	63	60	5	15 (10)	17 (12)	0
	VII.	62	76	70	69	5	17	21	3
	VIII.	36	39	46	40	11	5	6	5
	IX.	43	51	45	46	7	5	7	5
1933	VI.	84	89	88	87	6 (0)	17 (15)	18 (16)	2 (0)
	VII.	28	49	54	43	10	7	14	4
	VIII.	40	47	40	42	10	3	5	4
	IX.	51	56	58	55	6	9	3	3
1934	VI.	46	59	66	57	6 (5)	13 (8)	15 (10)	0
	VII.	31	47	56	44	10	9	10	3
	VIII.	68	70	71	69	5	19	20	3
	IX.	25	44	51	40	11	5	14	4
1932/34	VI.	61	71	72	68	6	15	17	1
1931/34	VII.	42	57	63	54	8	12	15	3
	VIII.	51	54	57	54	8	10	11	4
	IX.	45	53	54	51	8	9	9	4

Es fehlen die Beobachtungen für folgende Tage:

1931: 1.—3. VII.; 1932: 1.—6. VI.; 1933: 1.—10. VI.; 1934: 1.—8. VI.

Diese Lücken wurden für die hellen, trüben und Nebeltage nach den Ergebnissen anderer Stationen ergänzt (die beobachteten, unvollständigen Werte sind in Klammern gesetzt).

(August/September), wohl infolge der stärkeren Wasserdampferzeugung durch die Schneeschmelze und die höheren Niederschläge.

Der tägliche Gang der Bewölkungsintensität begünstigt im Strahlungsgenuß die Osthänge gegenüber den Westhängen, was Schreckenthal (1935) auch in den Ostalpen festgestellt hat.

In der Tabelle 39 ist auch eine Einteilung der Tage in helle und trübe Tage sowie Nebeltage vorgenommen. Als hell wird ein Tag in Übereinstimmung mit den Normen der Eidgenössischen Meteorologischen Zentralanstalt bezeichnet, wenn das Mittel der Bewölkung zur Zeit der Terminablesungen kleiner als 20 % ist, als trüb dagegen, wenn dieses Mittel über 80 % liegt. Unter Nebeltag findet sich jeder Tag verzeichnet, an dem unsere Beobachtungsstation oder der anschließende Alpengarten dauernd oder vorübergehend von Nebel verhüllt waren.

Ganz helle Tage sind selten. Als völlig wolkenlos wurden in der Beobachtungszeit 11—12 Tage bezeichnet, von denen die Hälfte auf den August fällt. Ganz schwach bewölkt (d. h. nie mehr als etwa 5 %) waren pro Monat 2—5 Tage, im Juni 1932 und 1934 gar keine. Meteorologisch helle Tage ergeben sich im Mittel 7,5, wobei die einzelnen Monate von 5—11 schwanken. Der Juni bleibt auch hier hinter den übrigen drei Monaten, die unter sich ein gleiches, 4jähriges Mittel aufweisen, zurück. In der Zahl der trüben Tage und der Nebeltage dagegen steht er voran. Die

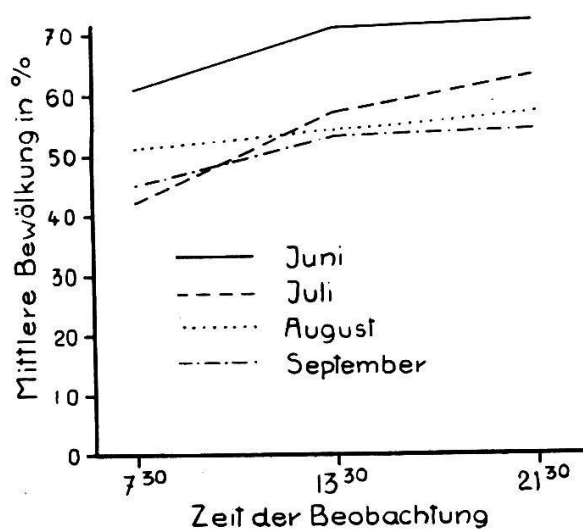


Abb. 44. Mittlere Bewölkung auf der Schinigeplatte während der Sommermonate zu verschiedenen Tageszeiten.

Nebelhäufigkeit ist groß, erreicht sie doch in einzelnen Monaten bis $\frac{2}{3}$ aller Tage. Oft handelt es sich nur um kurzfristige Einhüllung in aufsteigenden Nebel; gelegentlich dauert aber der Nebel eine ganze Reihe aufeinanderfolgender Tage an.

Als Ganzes ergibt sich in der Vegetationszeit bei starken jährlichen Schwankungen vorwiegend bedecktes, häufig nebliges Wetter, wobei vom Juni in den Hochsommer und gegen den Herbst hin eine deutliche Abnahme der Bewölkung eintritt. Allerdings besitzen wir für unsere Beobachtungsreihe vom Juni nur 3 Jahre, und der fehlende Juni 1931 war vermutlich unter den 4 Jahren derjenige mit der besten Wetterlage. Wenn wir versuchen, die Zahl der hellen und der trüben Tage für den Juni 1931 nach den Angaben vergleichbarer meteorologischer Beobachtungsstationen abzuschätzen, so erhalten wir als wahrscheinlich 6 helle und 12 trübe Tage. Die Mittelwerte würden also dadurch nur geringfügig verändert werden.

Zum Vergleiche bringen wir nach den Annalen der Eidgenössischen Meteorologischen Zentralanstalt noch die Bewölkungswerte von Interlaken, Beatenberg und Bern (Tab. 40).

TABELLE 40

Prozente der Himmelsbedeckung in Schinigeplatte, Beatenberg, Interlaken, Bern.

Jahr und Monat		Schinigeplatte	Beatenberg	Interlaken	Bern
1932/34	VI.	68	67	64	60
1931/34	VII.	54	57	55	53
	VIII.	54	58	54	53
	IX.	51	57	57	54
1931/1934 *	VI./IX.	57	60	58	55

(* Für Schinigeplatte Juni 1931 und für Interlaken September 1934 ergänzt.)

Bei der Beurteilung dieser Angaben darf man nicht übersehen, daß sie durch bloße Schätzung gewonnen sind und daher nicht in den Bruchteilen verglichen werden können, namentlich wenn sie von verschiedenen Beobachtern stammen. Trotzdem ergeben sich gewisse Gesetzmäßigkeiten. Die Bewölkungsunterschiede schwan-

ken nur zwischen 4—8 %. Für alle Stationen ist der Juni weit-
aus am wolkenreichsten, und in diesem Monat hält die Schinige-
platte die Spitze. In den übrigen Monaten ist Beatenberg deutlich
bedeckter als Schinigeplatte, und im besonderen zeigt Beatenberg
im September gegenüber dem August nur eine ganz kleine Ab-
nahme der Bewölkung und nimmt dadurch eine Übergangsstellung
zu den Stationen Interlaken und Bern ein, deren Himmel im Sep-
tember bewölchter ist als im Juli und August. In den einzelnen
Jahren sind naturgemäß die Unterschiede zwischen den einzelnen
Stationen teilweise größer als in den Mittelwerten.

Schließlich vergleichen wir noch die durch ihre Bewölkungs-
verhältnisse ausgezeichneten Tage der genannten Stationen (Tab.
41). Beatenberg bleibt mit Bezug auf die hellen Tage etwas zu-
rück (im Mittel 2 Tage), während Schinigeplatte sich mit einem
Tag Vorsprung vor Bern und Interlaken stellt. Das kommt davon

TABELLE 41

Mittlere monatliche Zahl der hellen Tage, trüben Tage und Nebeltage
für Schinigeplatte, Beatenberg, Interlaken, Bern.

Jahr und Monat		Schinigeplatte			Beatenberg			Interlaken			Bern		
		hell	trüb	Nebel	h.	t.	N.	h.	t.	N.	h.	t.	N.
1932/1934	VI.	6	15	17	3	12	7	5	13	0	6	11	1
1931/1934	VII.	8	12	15	7	11	7	9	11	0	8	10	1
	VIII.	8	10	11	6	10	5	7	9	0	7	10	3
	IX.	8	9	9	6	9	4	5	9	0.2	6	9	6
1931/1934	VI./IX. Total	30	46	52	22	42	23	26	42	0.1	27	40	11

(Ergänzung s. Tab. 40.)

her, daß diese beiden Talstationen im September stärkere Be-
wölkung aufweisen. Dagegen hat Schinigeplatte die höchste Zahl
von trüben Tagen, speziell im Juni und Juli; im September ver-
zeichnen alle Stationen die gleiche Anzahl. Ausgesprochen un-
günstiger als alle übrigen Stationen verhält sich Schinigeplatte
in der Zahl der Nebeltage (vgl. auch Abb. 45). Bern und Inter-
laken haben als Talstationen bis gegen Ende August keine Nebel,
und Beatenberg liegt an der untern Grenze der sommerlichen
Nebelkondensationen, die auf der Schinigeplatte ein hohes Maß

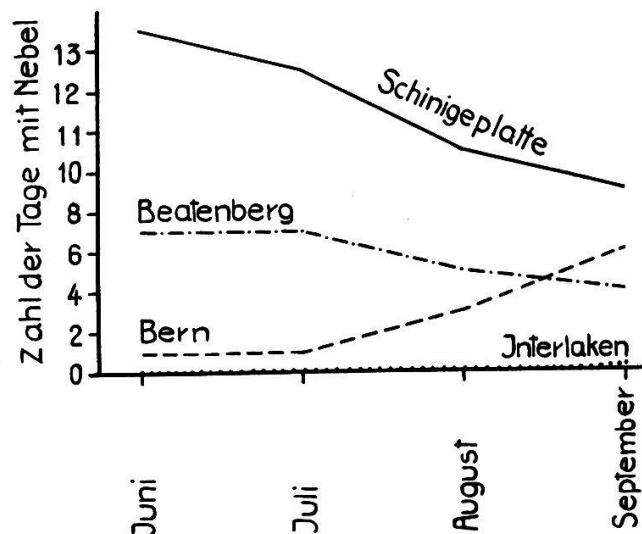


Abb. 45. Zahl der Tage mit Nebel während der Sommermonate für Schinigeplatte, Interlaken, Beatenberg und Bern.

annehmen, indem sie regelmäßig dem Schlechtwetter parallel gehen und oft auch bei guter Wetterlage eintreten.

2. Sonnenscheindauer und Lichtstrahlung

Das Gebiet der Schinigeplatte liegt gegen Westen hin völlig frei. Die Sonne geht zur Zeit der längsten Tage über der Niederhornkette unter, dann bei abnehmender Tageslänge über dem fernen Jura, der Stockhornkette und anfangs Oktober links vom Niesen. Da diese Berge nicht nur weit entfernt, sondern mit Ausnahme von Stockhorn und Niesen auch niedriger sind als die Schinigeplatte, so fällt die Stelle des Sonnenunterganges praktisch genommen mit dem natürlichen Horizont zusammen. Der Sonnenaufgang dagegen erfolgt über den hohen Alpen, während des Sommers über der Faulhornkette und den Wetterhörnern. Zur Zeit der längsten Tage erscheint die Sonne links vom Schwabhorn; bis zum 1. Oktober rückt sie gegen Süden bis in die Lücke zwischen Wetterhorn und Berglistock. Die Horizontbeschränkung durch die Berge wirkt sich infolge des Wechsels von Berggipfel und Einsattelung etwas ungleich aus, ist aber nicht sehr bedeutend, im Maximum etwa 6°.

Der gegen Osten oder Südosten geneigte Alpengarten hat ein besonderes Strahlungsregime. Er empfängt in seinem größten Teil das direkte Sonnenlicht während des ganzen Jahres vom Auf-

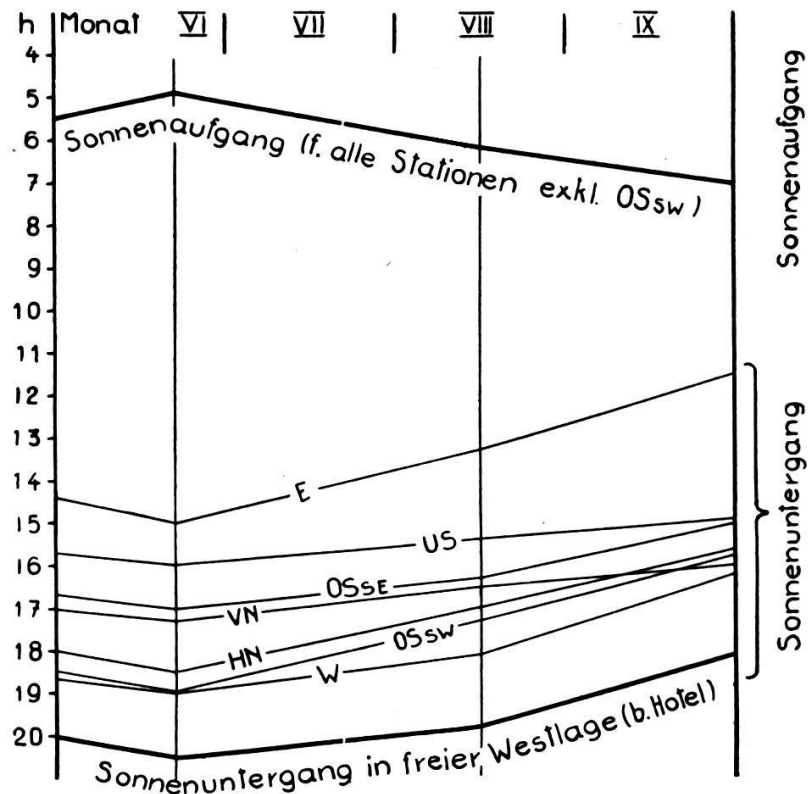


Abb. 46. Sonnenaufgang und Sonnenuntergang auf der Schinigeplatte bei den verschiedenen mikroklimatischen Stationen des Alpengartens und in freier Westexposition (mitteleuropäische Zeit). E = vorderes Empetretum, US = unteres Seslerietum, OSsE = oberes Seslerietum Südost, OSsw = oberes Seslerietum Südwest, VN = vorderes Nardetum, HN = hinteres Nardetum, W = Windecke.

gang an. Dagegen schneidet der gegen Westen vorgelagerte, von der Daube über das Gummihorn zur Geiß streichende Hang die Nachmittagssonne schon frühzeitig ab. Die Einzelheiten, auf die wir später noch zurückkommen werden, sind aus der Abbildung 46 zu ersehen; für den abends am längsten besonnenen Punkt, die Windecke, macht der Unterschied gegenüber dem nach Osten, Süden und Westen freien Rücken des Geißgrates $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden aus. Die Gesamtzahl der möglichen Sonnenscheinstunden errechnen wir für die am längsten besonnenen Punkte des Alpengartens während der 4 Monate der Vegetationszeit, Juni bis September, auf rund 1500, für den freien Rücken der Geiß oberhalb des Hotels auf annähernd 1700.

Während der beiden Sommer 1931 und 1932 wurde täglich die wirkliche Sonnenscheindauer im Alpengarten geschätzt, und zwar vom Sonnenaufgang bis zum Verschwinden der Sonne aus

dem Alpengarten (Windecke). Es ergaben sich die Werte der Tabelle 42, denen wir die Ergebnisse der Sonnenscheindauer-Messung mittels des Sonnenscheinautographen in Bern an die Seite setzen.

TABELLE 42

Zahl der Sonnenscheinstunden in den Sommermonaten 1931 und 1932 für Alpengarten Schinigeplatte (geschätzt) und Bern (Sonnenscheinautograph).

Monat	Schinigeplatte	Bern
1931 Juli	191	205
August	140	162
September	111	148
Juli—September	442	514
1932 Juni	170	208
Juli	130	160
August	233	262
September	168	158
Juni—September	701	788

Auf Schinigeplatte fehlten vom Juli 1931 die ersten drei Tage und vom Juni 1932 die ersten 6 Tage. Sie wurden ergänzt (mit 16, resp. 35 Stunden).

Als Ganzes genommen war die Witterung in der Beobachtungszeit verhältnismäßig sonnenarm; in Bern bleiben alle Monate mit Ausnahme von August und September 1932 beträchtlich hinter den langjährigen Mittelwerten zurück. Naturgemäß ist die so ermittelte Stundenzahl für die Schinigeplatte ungenau, aber immerhin annähernd richtig. Entsprechend den Witterungsverhältnissen schwankt der Sonnenschein in den entsprechenden Monaten der beiden Beobachtungsjahre innerhalb weiter Grenzen. Im August 1932 war er um $\frac{2}{3}$ höher als im Vorjahre. Es ist auch deutlich zu erkennen, daß die Zahl der Sonnenscheinstunden in Bern bedeutend höher ist als auf der Schinigeplatte. Nur der September 1932, der sich durch außerordentlich günstiges, sonniges Wetter auszeichnete, war auf der Höhe sonnenreicher infolge des Fehlens der Tiefennebel.

Wesentlich größer ist die Sonnenscheindauer in den trockenen Zentralalpen sowie am Südhang der Alpen. M ö r i k o f e r (1947) gibt eine Zusammenstellung der möglichen und tatsächlichen Sonnenscheindauer für die verschiedenen Klimagebiete der Schweiz. Während in den vier Sommermonaten Juni/September in Beatenberg 43 % der möglichen Sonnenscheinstunden wirklich eintrafen,

sind es in Zürich 50 %, Davos 53 % und Locarno-Monti 63 %. Beatenberg wird sich ähnlich verhalten wie Schinigeplatte. Für die beiden Beobachtungsjahre 1931/32 betrug im Alpengarten Schinigeplatte, in der am längsten besonnten, aber gegenüber der völlig freien Lage doch benachteiligten Windecke die Zahl der beobachteten Sonnenscheinstunden 38 % der möglichen (bei Ergänzung des Monat Juni 1931 mit 210 Stunden), in Davos 52 %.

Die Sonnenstrahlung erreicht bei klarem Himmel sehr hohe Werte. Das Gesamtlicht wurde mit dem Luxmeter zu 150 000—192 000 Lux gemessen, und die mit dem Graukeilphotometer gemessenen Tagessummen konnten zur Zeit der langen Tage 600—800 relative Lichteinheiten erreichen, bleiben aber im Mittel längerer sommerlicher Beobachtungsperioden zwischen 200 und 300. Wir werden bei der Besprechung des Mikroklimas eingehend darauf zurückkommen.

3. Temperaturen

Die Lufttemperatur wurde mit einem Sixthermometer gemessen, das frei an der Nordwestwand des Hauses, 1,5 m über dem Boden, angebracht war, unter Vergleich mit dem danebenstehenden Polymeter. Die Ablesungen erfolgten um 7¹/₂, 13¹/₂ und 21¹/₂ Uhr mitteleuropäischer Zeit, also zu den normalen Zeiten der Schweizerischen Meteorologischen Beobachtungsstationen, wobei allerdings gelegentlich kleinere Terminverschiebungen vorkamen. Außerdem wurde täglich das Minimum und das Maximum abgelesen. Da die Instrumente von 14¹/₄ Uhr bis nach 16 Uhr der Besonnung ausgesetzt waren, sind die Maximumwerte für unsere Fragestellung nicht zu gebrauchen. Die Steigerung gegenüber der Messung von 13¹/₂ Uhr macht im Mittelwert eines trübten Monates weniger als 1° aus, steigt aber in sonnigen Monaten viel höher (so im August 1932 auf 6,6°).

Der Vergleich der Monatsmittel in Tabelle 43 ergibt starke Schwankungen in den verschiedenen Jahren, wie sie nach dem sehr verschiedenen Witterungsablaufe auch zu erwarten sind. Im Juni fehlt jeweilen ungefähr der erste Drittel des Monates, so daß die Mittelwerte für den Monat als Ganzes genommen zu hoch sind. Sehr kalt war der Juni 1933, während 1932 und 1934 sich der Norm nähern. Für den Juni 1931, den unsere Messungen nicht erfaßten, dürfen wir durch Vergleich mit Beatenberg die Mitteltemperatur auf ca. 9° ansetzen. Dann ergibt sich als Mittel der 4 Jahre 6,5°. Der September umfaßte 3 warme Jahre; im Jahre 1932 war er sogar merklich wärmer als der Juli. Dagegen war dieser Monat im Jahre 1931 außerordentlich kalt.

Beim Vergleich mit den Werten von Beatenberg, Interlaken und Bern, das von Interlaken nur unwesentlich verschieden ist, zeigt die Schinigeplatte für die ganze Beobachtungszeit der Monate Juli, August, September gegenüber Beatenberg ein um $4,2^{\circ}$, gegenüber Interlaken um $6,7^{\circ}$ niedrigeres Mittel. Das ergibt einen Temperaturgradienten auf je 100 m von $0,52^{\circ}$ gegenüber Beatenberg und von $0,49^{\circ}$ gegenüber Interlaken, was der allgemeinen Norm entspricht. In den einzelnen Monaten sind die Unterschiede in den Mittelwerten zwischen der Schinigeplatte und den beiden andern Stationen wesentlichen Schwankungen unterworfen; gegenüber Beatenberg gehen die Unterschiede von $3,2$ bis $5,3^{\circ}$, gegenüber Interlaken von $6,0$ bis $8,4^{\circ}$. Am größten ist die Differenz im Juni, am kleinsten im September (Abb. 47). Im Herbst hat also die Höhenstation ein deutliches Wärmeplus.

Wir können versuchen, durch den Vergleich mit Beatenberg die auf der Schinigeplatte in 4 Jahren beobachteten Mittelwerte auf langfristige Perioden zu beziehen. In Beatenberg standen die Werte der Beobachtungsjahre 1931/34 verglichen mit den langjährigen Mittelwerten wie folgt:

Juni	$0,5^{\circ}$ unter dem langjährigen Mittel
Juli	$0,4^{\circ}$ unter dem langjährigen Mittel
August	$0,2^{\circ}$ über dem langjährigen Mittel
September	$0,1^{\circ}$ unter dem langjährigen Mittel

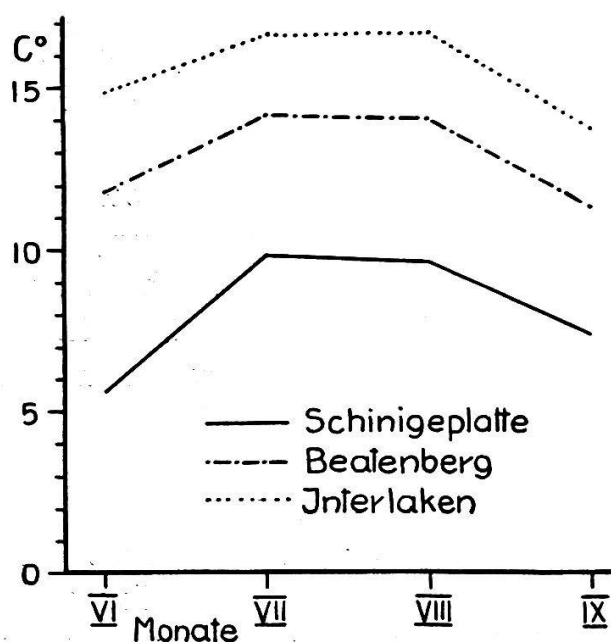


Abb. 47. Mittlere Monatstemperaturen für Schinigeplatte, Interlaken und Beatenberg in den Sommermonaten 1931/34.

TABELLE 43

Mittlere Lufttemperaturen (Hauswand) auf der Schinigeplatte während der Vegetationszeit.

Datum	Juni					Juli					August					September					
	Mittel C°	7 1/2 C°	13 1/2 C°	21 1/2 C°	Min. C°	Mittel C°	7 1/2 C°	13 1/2 C°	21 1/2 C°	Min. C°	Mittel C°	7 1/2 C°	13 1/2 C°	21 1/2 C°	Min. C°	Mittel C°	7 1/2 C°	13 1/2 C°	21 1/2 C°	Min. C°	
1931						9,9	8,8	13,7	8,5	5,5		8,1	9,1	12,2	5,6	5,1	3,8	3,9	6,7	2,3	-0,2
1932	6,4	6,6	9,3	4,9	3,2	8,4	8,7	11,0	6,9	5,9	11,9	12,0	15,2	10,0	8,9	9,9	9,3	13,2	8,5	6,6	
1933	3,1	2,3	5,4	2,4	1,2	10,8	10,3	13,3	9,3	6,6	11,3	10,7	15,1	9,7	8,1	8,1	7,6	11,2	6,7	5,4	
1934	7,4	6,4	10,5	6,4	3,1	10,5	9,9	13,0	9,5	6,2	7,1	6,3	9,5	6,3	3,8	7,7	5,7	10,9	7,1	3,6	
Mittel 1931/34	5,6	5,1	8,4	4,6	2,5	9,9	9,4	12,8	8,6	6,1	9,6	9,5	13,0	7,9	6,5	7,4	6,6	10,5	6,2	3,9	

Das ergibt für die Schinigeplatte folgende Mittelwerte (Juni nach Beatenberg ergänzt):

Juni	7,0°
Juli	10,3°
August	9,4°
September	7,5°

Daraus erhalten wir für die Vegetationszeit auf der Schinigeplatte (Juni/September) ein Temperaturmittel von 8,5°. Die mittlere Jahrestemperatur der Schinigeplatte dürfte etwa +1,8° betragen (Interpolation nach der Station Beatenberg). Gegenüber den von W. Mörikofer (1932, S. 36) angegebenen normalen Temperaturmitteln der Nordalpen in 2000 m Meereshöhe ergeben sich nur geringe Abweichungen: der Juni ist auf der Schinigeplatte 0,4° kälter, der Juli dagegen 0,3°, der August 0,2° und der September 0,8° wärmer; das Mittel der 4 Monate macht nur 0,3° zugunsten der Schinigeplatte aus.

Betrachten wir in unserer Tabelle 43 die Werte der Ablesungen für die verschiedenen Tagesstunden, so fällt auf, daß des Morgens eine ausgesprochen frühe Aufwärmung eintritt. Um 7^{1/2} Uhr steht die Temperatur bereits wesentlich über dem nächtlichen Minimum, vor allem an den Tagen mit freier Sonnenstrahlung. Die einzelnen Monate verhalten sich annähernd gleich. Insbesondere steht der September trotz der am Morgen viel später einsetzenden Sonnenwirkung noch merklich über dem Juni, was als

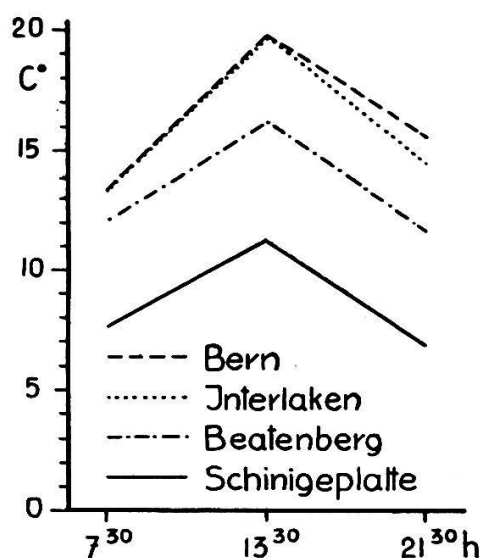


Abb. 48. Temperaturen zu verschiedenen Tageszeiten in monatlichen Mittelwerten für Schinigeplatte, Interlaken, Beatenberg und Bern in den Sommermonaten 1931/34.

Folge der bedeutend schwächeren Bewölkung zu betrachten ist. Die gleiche Erscheinung wird von Maurer, Billwiler und Hess (1910) für die Station Beatenberg hervorgehoben.

Die Abendtemperatur um 21.30 Uhr ist in der Regel auf der Schinigeplatte tiefer als die Morgentemperatur, und der Unterschied kann im Monatsmittel $3,5^{\circ}$ erreichen (August 1931). Die Talstationen dagegen zeigen ein umgekehrtes Verhältnis: Die Abendwerte der Temperatur sind durchwegs höher als die Morgenwerte. Aber infolge der stärkeren Aufwärmung der Talstation ist der Abfall vom Mittagswert zum Abendwert in Schinigeplatte, Beatenberg und Bern ungefähr gleich groß, in Interlaken um $0,5^{\circ}$ höher (vgl. Abb. 48).

Bei bedecktem, kühlem Wetter, namentlich bei Nebel, schwankt manchmal die Lufttemperatur auf der Schinigeplatte auch im Sommer den ganzen Tag um den Nullpunkt herum. So haben wir Werte für die drei Terminablesungen eines Tages von 0° , $0,5^{\circ}$, $0,5^{\circ}$; 0° , 0° , 1° ; 1° , 1° , 0° . Gelegentlich folgen sich eine ganze Reihe solcher «Sommertage».

Extremtemperaturen. Fröste können in jedem Monat vorkommen und sind in den Monaten Juni und September eine häufige Erscheinung. Wir haben die absoluten Minima der Lufttemperatur an der Hauswand in Tab. 44 zusammengestellt. Man sieht, daß im September bereits bedeutende Frostwerte erreicht werden können, die allerdings im offenen Gelände des Alpengartens noch wesentlich übertroffen werden (vgl. S. 294). Im September 1931 blieb sogar das mittlere Minimum (Tab. 43) unter dem Gefrierpunkt, und am 7. September 1931 war der Boden im Gebiete des Alpengartens hart gefroren. Trotzdem ist im Mittel der Beobachtungsjahre das Minimum im September wesentlich höher als im Juni und würde auch höher bleiben bei Einbezug des in unseren Beobachtungen fehlenden warmen Juni 1931. Das höchste mittlere Minimum fällt auf den August, sowohl in den monatlichen Mittelwerten als auch in den absoluten Extremen.

Die Maximalwerte der Lufttemperatur im Schatten der Hauswand können wir aus den oben angeführten Gründen nicht genau angeben. Sie dürften aber nicht viel höher liegen als die um $13\frac{1}{2}$ Uhr abgelesenen Werte, die sich auf der Tabelle 44 verzeich-

TABELLE 44

Die extremen Werte für die Lufttemperatur an der Hauswand (für jeden Monat der tiefste Minimumwert und der höchste Wert der Ablesung um 13 $\frac{1}{2}$ Uhr).

	C.	C.
1931 Juli	22	—1
August	21	0
September	17	—8,5
1932 Juni	15	—3
Juli	18	+1
August	22	+3
September	20,5	+0,5
1933 Juni	12	—3
Juli	23	—1
August	23	+0,5
September	15	—0,5
1934 Juni	17	—1
Juli	19	+1
August	18	—1
September	18	—3
1931/34 Mittel (3 Jahre)		
Juni	14,7	—2,3
Juli	20,3	0
August	21,0	+0,6
September	17,6	—2,9

net finden. Die höchsten abgelesenen Werte liegen jeweils etwas über 20° (absolutes Maximum 23°, im Juli und August 1933); nur im Jahre 1934 wurden 20° nicht ganz erreicht. Juli und August verhalten sich annähernd gleich; doch übersteigt der Wert für den August im vierjährigen Mittel den für den Juli um 0,7°.

4. Winde

Die Schinigeplatte als Ganzes ist den Winden sehr frei ausgesetzt. Die westlichen Winde, die zum Teil durch das Thunerseetal hinaufziehen, prallen an die Felsbastion am Westende der Faulhornkette an. Da dem Alpengartengebiet gegen Westen der Bergzug Daube—Geiß vorgelagert ist, so werden die Westwinde gewöhnlich abgelenkt und fallen von Nordwesten oder Norden durch die Gratlücken der Kette Geiß—Daube—Oberberghorn ein. Ihre Stärke ist im Alpengarten viel gemäßigter als am Westhang der Geiß-Kette, etwa beim Hotel Schinigeplatte. Die Nordwinde kommen vom Brienersee her und müssen ebenfalls den Grat der Faulhornkette zwischen Daube—Oberberghorn—Laucherhorn über-

steigen. Infolge dieser lokal gegebenen Ursachen wehen weitaus die meisten Winde des Alpengartengebietes aus der nördlichen Richtung, wobei sie selten große Heftigkeit annehmen. Die nördlichen Winde bringen die Nebel mit sich, die also vorwiegend vom Brienersee her über den Berggrat in das Alpengartengebiet gelangen. Dies ist namentlich dann der Fall, wenn der Nordwind aufkommt. Da beobachten wir häufig, wie eine Nebelmauer hinter dem Berggrat auf der Seite des Brienersees liegt, schließlich über den Grat hinweg auf die Südseite durchbricht und das Alpengartengebiet einhüllt. Damit ist in der Regel eine sehr rasch eintretende, empfindliche Abkühlung verbunden. Bei schwacher Luftströmung steigen übrigens die Nebel des öftern auch von dem Tale der Schwarzen Lutschine, also von Süden her, zur Schinigeplatte hinauf und erzeugen häufig einen wogenden Wechsel von Nebel und Sonnenschein.

Von Süden und Südwesten einfallende Winde sind seltener. Der Föhn kann allerdings frei herankommen und weht auch, gelegentlich mit Sturmesgewalt, in jedem Sommermonat. Aber sein Auftreten als starker Wind ist doch nicht häufig. Dagegen sind leichte südliche und südwestliche Luftströmungen oft wahrzunehmen. Sie bringen schönes, warmes und trockenes Wetter, sind aber gewöhnlich nur von kurzer Dauer, vom August an häufiger und länger dauernd als im Vorsommer. Im ganzen genommen sind die Sommermonate eine Zeit ausgesprochener Herrschaft feuchter Winde, da sich die Bise als Bringer von langedauernden Nebelkondensationen den regenbringenden, westlichen Winden anreihet.

5. *Relative Luftfeuchtigkeit*

Diese wurde mit einem Haarhygrometer, das an der Nordostseite der Hauswand neben dem Thermometer befestigt war, gemessen, und die Beobachtung erfolgte zur gleichen Zeit wie die Thermometerablesung (vgl. S. 197). Die monatlichen Mittelwerte sind in Tabelle 45 zusammengestellt.

Die relative Luftfeuchtigkeit ergab im Tagesgang bei guter Witterung bedeutende Schwankungen. Während des Nachts meist starker Tau fiel, erfolgte schon vor Aufgang der Sonne ein Rückgang der Luftfeuchtigkeit, der sich während des frühen Vormittags rasch fortsetzte und gegen den Mittag hin verlangsamte.

TABELLE 45

Relative Luftfeuchtigkeit der Hauswandstation Schinigeplatte. Monatliche Mittelwerte und absolute monatliche Minima der Terminablesungen.

Jahr und Monat		7 1/2 h	13 1/2 h	21 1/2 h	Mittel	Minimum
		o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
1931	VII.	73	71	84	76	37
	VIII.	71	73	85	76	29
	IX.	72	73	88	78	38
1932	VI.	74	69	89	77	44
	VII.	82	75	91	83	36
	VIII.	65	57	82	68	30
	IX.	71	65	78	72	36
1933	VI.	86	78	89	84	50
	VII.	70	65	87	74	35
	VIII.	63	59	85	69	37
	IX.	65	60	81	69	35
1934	VI.	72	68	81	73	46
	VII.	70	62	82	71	39
	VIII.	81	74	86	80	34
	IX.	74	61	85	73	37
1932/34	VI.	77	72	86	78	47
1931/34	VII.	74	68	86	76	37
	VIII.	70	66	84	73	33
	IX.	71	65	83	73	37

Oft wurde das Minimum bereits vor der Mittagsablesung erreicht. Deshalb waren Morgen- und Mittagswert gewöhnlich nicht sehr voneinander verschieden, im Mittel 5 o/o, und in mehreren Monaten bleibt das Mittagmittel über dem Morgenmittel. Im Laufe des Nachmittags nahm die Luftfeuchtigkeit wieder stark zu; die Taubildung begann im Juni bis August meist zwischen 18—19 Uhr. Der Abendwert liegt dementsprechend ganz wesentlich über dem Morgenwert, im Mittel 12 o/o. Starke Abweichungen ergaben sich naturgemäß bei Schlechtwetter, namentlich bei Nebel, wo das Instrument tagelang in der Nähe der Wasserdampfsättigung stehen blieb, und anderseits bei Föhnlage, gleichgültig, ob sich diese als Sturmwind oder als kaum merkliche, trockene Luftströmung auswirkte. Wir haben in der Tabelle 45 die niedrigsten, während unserer Terminablesungen festgestellten Werte für die einzelnen Monate aufgeführt; die relative Luftfeuchtigkeit kann aber auch noch tiefer fallen; Ende September 1942 zum Beispiel sank sie

bis ca. 25 ‰ und blieb mehrere Tage unterhalb 40 ‰. Am 30. September maßen wir um 21 Uhr 35 ‰, am 1. Oktober um 18¹/₂ Uhr 26 ‰. Im August 1932 blieben 14 Terminablesungen unter 40 ‰ relativer Luftfeuchtigkeit. Verhältnismäßig selten treten tiefe Werte im Monat Juni auf.

Ganz allgemein sind im Juni die mittleren Werte der Luftfeuchtigkeit am höchsten und fallen dann zum Hochsommer und Herbst hin ab, am Morgen und Mittag stärker als am Abend. Vom August zum September steigt die Luftfeuchtigkeit zur Zeit der Morgenablesung wieder etwas an, als Folge der zunehmenden Verkürzung der Tage, der ein späterer Beginn der morgendlichen Austrocknung entspricht.

Wir wollen unsere Schinigeplatte-Werte der relativen Luftfeuchtigkeit auch wieder mit denen von Interlaken, Beatenberg und Bern vergleichen (Tab. 46).

TABELLE 46

Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit für die Stationen Schinigeplatte, Interlaken, Beatenberg, Bern. Monatliche Mittelwerte und 4- (resp. 3-) jährige Mittel der absoluten monatlichen Minima (Terminablesungen).

Jahr und Monat		Schinigeplatte					Interlaken					Beatenberg					Bern				
		7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	Mittel	Min.	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	Mittel	Min.	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	Mittel	Min.	7 ¹ / ₂ h	13 ¹ / ₂ h	21 ¹ / ₂ h	Mittel	Min.
1932/1934	VI.	77	72	86	78	47	82	51	79	71	33	79	68	78	75	44	84	55	75	71	27
1931/1934	VII.	74	68	86	76	37	85	53	81	73	37	79	69	79	76	46	83	58	76	72	37
	VIII.	70	66	84	73	33	86	51	79	72	33	78	68	78	75	46	88	59	82	76	35
	IX.	71	65	83	73	37	92	53	85	77	38	82	70	81	78	46	90	67	84	80	47
1931/1934	VI./IX.	73	68	85	75	39	86	52	81	73	35	80	69	79	76	46	86	60	79	75	37

(Für Interlaken IX. 1934 ergänzt.)

Angesichts der Unvollkommenheit der Instrumente sind einige Prozent Fehler nicht auszuschließen. Namentlich macht das Instrument von Beatenberg den Eindruck von Unempfindlichkeit gegen größere Lufttrockenheit (vgl. die Minimalwerte).

Die Mittelwerte der gesamten Beobachtungszeit sind für die verschiedenen Stationen beinahe gleich. Interlaken steht um 2 ‰ unter Schinigeplatte und Bern, Beatenberg um 1 ‰ darüber. Die Sache wird aber ganz anders, wenn wir die verschiedenen Ter-

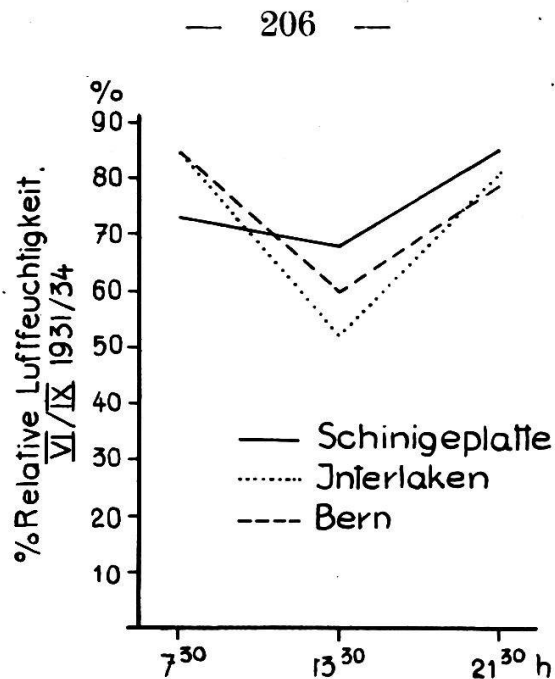


Abb. 49. Mittlere relative Luftfeuchtigkeit zu verschiedenen Tageszeiten für Schinigeplatte, Interlaken und Bern in den Sommermonaten 1931/34.

mine berücksichtigen (vgl. auch Abb. 49). Im Mittel der Morgenwerte ist die Lufttrockenheit auf der Schinigeplatte mit nur 73 % weitaus am größten. In Beatenberg ist die Feuchtigkeit um 7 % größer, in Interlaken und Bern um 13 %. Gegen Mittag kehrt sich das Verhältnis um. Auf der Schinigeplatte nimmt die Lufttrockenheit bis zur Mittagablesung nur um 5 % zu, in Beatenberg um 11 %, in Bern um 26 %, in Interlaken um 34 %. Am Abend nimmt die Luftfeuchtigkeit stark zu, und die Werte der verschiedenen Stationen nähern sich wieder (79—85 %). Auf Schinigeplatte ist die abendliche Feuchtigkeit am größten und zugleich um 12 % höher als am Morgen; für die übrigen Stationen bleibt sie niedriger als am Morgen. Die mittlere tägliche Schwankung der Luftfeuchtigkeit während der ganzen Beobachtungsperiode beträgt für

Schinigeplatte	17 %	Bern	26 %
Beatenberg	11 %	Interlaken	34 %

Der Vergleich der einzelnen Monate ergibt für die Schinigeplatte eine Sonderstellung. Hier ist die höchste Luftfeuchtigkeit im Juni vorhanden, und von da an nimmt sie bis in den Herbst deutlich ab. August und September stehen im Mittel um 5 % unter dem Juniwert. Die Beziehung des verhältnismäßig heitern Juni

1931 würde vielleicht diesen Unterschied etwas verringert, aber nicht aufgehoben haben. Im Gegensatz dazu ist bei den übrigen Stationen der Juniwert der Luftfeuchtigkeit am niedrigsten, der Septemberwert am höchsten, bei andauerndem Ansteigen in Bern und mit einer kleinen Abnahme im August für die Stationen am oberen Ende des Thunersees.

Der jahreszeitliche Gesamtgang der relativen Luftfeuchtigkeit spiegelt sich auch in den Minimalwerten. In Tabelle 46 sind die Mittel aus dem niedrigsten Wert für jeden Monat zusammengestellt. Sie stehen auf der Schinigeplatte im Juni am höchsten, fallen bis in den August ab und steigen im September etwas an. Die übrigen Stationen zeigen die niedrigsten Werte im Juni (Bern, Beatenberg) oder im Juni und August (Interlaken). Im Gesamtdurchschnitt steht der Minimalwert der Schinigeplatte über dem von Interlaken und Bern, was dem viel feuchteren Juni zu verdanken ist. Die tiefsten Einzelwerte der Luftfeuchtigkeit fallen auf ganz verschiedene Monate:

Bern = Juni 1932 mit 22 % (Schinigeplatte zugleich 40 %);

Interlaken = August 1932 mit 28 % (Schinigeplatte zugleich 26 %);

Beatenberg = September 1933 mit 34 % (Schinigeplatte zugleich 31 %);

Schinigeplatte = August 1931 mit 25 % (Bern zugleich 42 %).

Namentlich Bern fällt ausgesprochen aus der Reihe, was sich dadurch erklärt, daß die tiefen Werte der relativen Luftfeuchtigkeit im Innern des Berner Oberlandes allgemein als Folge der Föhnwirkung auftreten, die Bern oft nicht erreicht.

6. Niederschläge

Während 8 Sommern (1931—1937, 1942) wurden im Alpengarten die Niederschläge gemessen.

Der Regenmesser stand im vordern Teil des Alpengartens (s. Abb. 51), in der Nähe des sogenannten Bankplatzes, also in freier, ebener Lage und 1 m über dem Boden. Im Sommer 1931 gelangte eine Büchse zur Verwendung mit einer Auffangfläche von 67 cm², deren Werte auf 1 dm² umgerechnet wurden. Im Frühling 1932 ersetzten wir sie durch einen Regenmesser nach Hellmann. Da ein spezieller Windschutz fehlte, so sind vielleicht die Ergebnisse etwas zu klein; doch macht dies auf jeden Fall nicht viel aus. Die Windwirkung ist in diesem Teile des Gartens, soweit sie aus nördlicher Richtung kommt, wie dies für die regenbringenden Winde die Regel ist (s. S. 202), sehr

abgebremst. Vollständig sind die Beobachtungsreihen jeweilen für die Monate Juli, August und September; nur für den Juli 1931 und den September 1937 mußte eine kleine Ergänzung vorgenommen werden. Die Junimessungen sind immer mehr oder weniger unvollständig; wir haben sie in die Tabelle aufgenommen und auch mit den entsprechenden Zeitabschnitten der andern Stationen verglichen, ohne sie aber zur Berechnung der Gesamtsummen beizuziehen. Als Niederschlagstag wurden nur die Tage mit einem Niederschlag von mehr als 0,3 mm gezählt.

Die Ergebnisse der Messungen zeigen, wie zu erwarten ist, hohe Niederschlagssummen während der Sommermonate, wobei im Mittel der Jahre vom Juli über den August zum September eine beträchtliche Abnahme stattfindet (Tab. 47). Der Monat Juni würde, soweit die unvollständigen Messungen ein Urteil zulassen, mindestens ebenso hohe Niederschläge liefern wie der Juli, vermutlich sogar noch deutlich höher stehen.

Wenn wir die einzelnen Jahre oder gar die Monate betrachten, so ergeben sich große Schwankungen in den monatlichen Niederschlagssummen und in der Zahl der Niederschlagstage. Die ersteren schwanken von 54 bis 259 mm, die letzteren von 9—24 Tagen. Auch der trockenste Monat bringt also noch bedeutende Niederschläge. Für die einzelnen Monate ist das Verhältnis von der kleinsten zur größten monatlichen Niederschlagsmenge wie folgt:

Juli	= 1 : 2,1
August	= 1 : 3,5
September	= 1 : 4,3

Im Mittel der 8 Beobachtungsjahre fallen auf die 3 Monate Juli, August, September 471 mm Niederschläge, die sich auf 45 Tage verteilen.

Die maximalen, innerhalb eines Tages gefallenen Niederschlagsmengen finden sich in jedem der drei Monate. Wir bringen nachstehend für jedes Beobachtungsjahr die zwei höchsten gemessenen Tageswerte:

1931 14. VII.	= 55 mm (ca.)	1935 3. VII.	= 48,8 mm
11. IX.	= 44 mm	14. VIII.	= 47 mm
1932 14. VII.	= 32 mm	1936 1. VII.	= 30 mm
21. VIII.	= 31 mm	27. IX.	= 38,7 mm
1933 29. VII.	= 40 mm	1937 1. VIII.	= 37,3 mm
21. IX.	= 31,8 mm	10. IX.	= 42,2 mm
1934 25. VI.	= 32,8 mm	1942 21. VIII.	= 33,5 mm
9. IX.	= 54,2 mm	24. VIII.	= 46,6 mm

TABELLE 47

Niederschläge: Monatliche Summen und Zahl der Tage mit Niederschlag für Schinigeplatte und einige benachbarte Stationen.

N = Niederschlag; T = Zahl der Tage.

Jahr und Monat	Schinigeplatte		Interlaken		Beatenberg		Grindelwald		Lauterbrunnen	
	N mm	T	N mm	T	N mm	T	N mm	T	N mm	T
1931 Juli	255	17	201	17	257	16	196	15	211	15
August	212	24	209	24	246	23	171	25	196	23
September	121	12	87	11	83	11	66	12	73	12
1932 Juni (exkl. 1.—6.)	179		113		119		101		90	
Juli	228	22	168	20	289	21	151	22	160	23
August	117	14	89	12	106	10	99	14	114	15
September	54	14	34	12	73	12	55	12	38	13
1933 Juni (exkl. 1.—9.)	178		155		214		163		158	
Juli	156	12	122	11	141	11	105	11	147	11
August	60	9	44	9	59	8	61	12	74	12
September	185	12	137	12	140	12	146	13	184	12
1934 Juni (exkl. 1.—8.)	196		134		165		170		198	
Juli	147	12	120	12	175	12	122	12	161	11
August	165	19	143	20	173	19	138	21	163	18
September	119	9	90	9	110	10	78	9	83	10
1935 Juli	123	10	103	10	131	11	80	9	99	10
August	192	18	145	17	160	17	176	17	141	16
September	84	13	67	16	80	14	66	12	62	9
1936 Juli	259	21	203	22	224	22	226	23	231	21
August	123	12	121	11	125	13	113	10	153	11
September	230	18	218	20	277	18	193	16	206	18
1937 Juli	154	16	118	15	157	16	108	15	145	16
August	172	18	117	16	122	18	117	17	156	17
September	141	13	123	14	132	14	122	16	96	14
1942 Juni (exkl. 1.—14.)	73		80		61		51		44	
Juli	146	16	172	18	196	17	117	16	155	16
August	198	17	159	13	192	14	127	12	182	14
September	124	11	109	11	121	ca. 11	160	11	134	13
Gesamtsummen VII./IX.										
1931	588	53	497	52	586	50	433	52	480	50
1932	399	50	291	44	468	43	305	48	312	51
1933	401	33	303	32	340	31	312	36	405	35
1934	431	40	353	41	458	41	338	42	407	39
1935	399	41	315	43	371	42	322	38	302	35
1936	612	51	542	53	626	53	532	49	590	50
1937	467	47	358	45	411	48	347	48	397	47
1942	468	44	440	42	509	42	404	39	471	43
Mittel der Beobach- tungsjahre	471	45	387	44	470	44	374	44	419	44

Es sind vertreten der Juni (unvollständig) 1mal, Juli = 5mal, August = 5mal, September = 5mal. Bei der Vergleichung der Daten fällt auf, daß der September trotz der im ganzen viel geringeren Niederschlagsmengen unter den Maximalwerten ebenso häufig vertreten ist wie der niederschlagsreiche Juli. Als Mittel ergeben sich aus den 16 Höchstwerten für die 8 Jahre 40,3 mm. Immerhin sind Werte über 40 mm vereinzelt und treten nicht alle Jahre auf. Für zwei aufeinanderfolgende Tage sind Summen von 50—70 mm mehrmals beobachtet worden. Ein Teil der hohen Niederschläge erfolgte in Form von Gewitterregen, ein Teil als Landregen, ein kleiner Teil auch als Schnee.

TABELLE 48

Mittlere monatliche Summen der Niederschläge und mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag für Schinigeplatte und einige benachbarte Stationen während der Monate Juli/September.

1931/1937 1942	Schinigeplatte		Interlaken		Beatenberg		Grindelwald		Lauterbrunnen	
	Niederschlag mm	Zahl der Tage	N mm	T	N mm	T	N mm	T	N mm	T
VII.	184	16	151	16	195	16	138	15	163	15
VIII.	155	16	128	15	148	15	125	16	147	16
IX.	133	13	108	13	127	13	111	13	109	13
VII./IX.	471	45	387	44	470	44	374	44	419	44

Vergleichen wir die Mittelwerte der Niederschläge (Tab. 48 und Abb. 50) der Schinigeplatte mit den benachbarten Regenmeßstationen Interlaken, Beatenberg, Grindelwald (im weiten Talhintergrund der Schwarzen Lütschine, am Südfuß der Faulhornkette, 10,5 km südöstlich der Schinigeplatte, 1050 m ü. M.) und Lauterbrunnen (im engen und tiefen Tal der Weißen Lütschine, 6 km südlich der Schinigeplatte, 810 m ü. M.), so finden wir übereinstimmend die ausgesprochene Abnahme der mittleren Niederschlagssummen vom Juli bis zum September, ferner die gleiche mittlere Zahl der Tage mit Niederschlag. Dagegen ist die Niederschlagsgröße (mittlere Niederschlagsmenge) wesentlich verschieden, wobei sich zwei Gruppen von Stationen unterscheiden lassen. Beatenberg weist annähernd das gleiche Mittel auf wie die

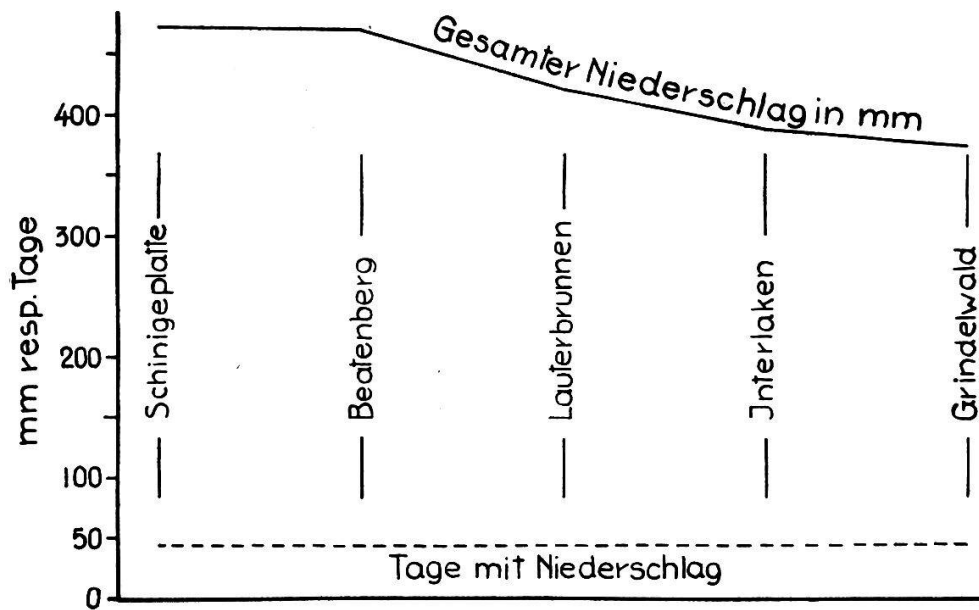


Abb. 50. Mittlere sommerliche Niederschlagssumme für Schinigeplatte, Beatenberg, Lauterbrunnen, Interlaken und Grindelwald in den Sommermonaten 1931/34.

Schinigeplatte, während die 3 Talstationen um 52—97 mm zurückbleiben (d. s. 11,0—20,6 ‰). Grindelwald, die höchstgelegene der Talstationen, die in der Höhenlage bereits Beatenberg näher liegt als der am tiefsten gelegenen Station Interlaken, weist dabei bemerkenswerterweise die kleinsten Niederschläge auf. In den Mittelwerten der einzelnen Monate zeigen die Stationen ein etwas verschiedenes Verhalten, das sich vielleicht bei vieljährigen Mitteln ausgleichen würde.

Sehr viel uneinheitlicher wird das Bild, wenn wir die einzelnen Monate oder gar die einzelnen Niederschlagstage miteinander in Vergleich ziehen. Kein einziger Monat hat für alle Stationen die gleiche Zahl von Niederschlagstagen. Allerdings sind die Abweichungen oft nur gering und betreffen mehrmals eine einzige Station mit einem einzigen Tag. Aber es kommt vor, daß alle Stationen verschiedene Zahlen der Niederschlagstage aufweisen, und im Extrem steigt der Unterschied zwischen den einzelnen Stationen bis auf 7 Tage (IX. 1935). Landregen gehen natürlich über das ganze Gebiet (s. Tab. 49, unter b); bei den starken und kurz dauernden Gewitterregen dagegen, die strichweise über die Berge ziehen, sind die Niederschlagssummen in den einzelnen Stationen oft recht ungleich; doch bekommen ge-

TABELLE 49

Niederschläge, die sich an den verschiedenen Vergleichsstationen in sehr ungleichen (a) oder im wesentlichen übereinstimmenden Tagesmengen (b) auswirkten.

Datum	Niederschläge in mm				
	Schinigeplatte	Interlaken	Beatenberg	Grindelwald	Lauterbrunnen
a)					
19./21. VIII. 1931	53.7	39.3	87.7	33.8	37.7
20. VII. 1932	14.4	11.5	52.7	11.1	10.7
29. VIII. 1932	1.3	8.2	14.1	0.9	0.8
9. VII. 1933	7.8	0.8	0.6	7.3	28.2
20. VII. 1933	15.5	31.2	26.9	6.3	4.8
28. VII. 1933	0	0	0	9.8	12.0
12. VIII. 1933	4.7	2.2	2.4	18.6	12.2
15. VI. 1934	15.0	4.1	2.9	19.2	17.3
13. IX. 1936	29.5	17.5	8.5	12.2	11.5
24. VI. 1942	24.6	45.2	22.9	18.1	7.6
b)					
21. IX. 1933	31.8	27.2	32.2	36.4	29.5
25. VI. 1934	32.8	29.7	33.0	39.8	34.0
23. VIII. 1934	10.0	10.8	13.8	11.3	11.5

wöhnlich auch die entfernteren Stationen noch etwas Niederschlag. Bei schwachen Niederschlägen, besonders auch am Anfang oder Ende einer Niederschlagsperiode, kommt es am häufigsten vor, daß in der einen oder andern Station der Niederschlag unter der Grenze von 0,3 mm bleibt oder gar nicht in Erscheinung tritt. Wir bringen in Tabelle 49, unter a, einige Beispiele von Niederschlägen, die sich auf der Schinigeplatte anders ausgewirkt haben als für einen Teil der andern Stationen der Umgebung. Es zeigt sich, daß alle möglichen Kombinationen verwirklicht sind: Schinigeplatte kann ihre eigenen Wege gehen; die Niederschlagsmengen können parallel gehen mit denen von Grindelwald oder von Interlaken, seltener auch mit Beatenberg oder Lauterbrunnen oder mit mehreren dieser Stationen. Die Eigentümlichkeiten begreifen sich, wenn man in Betracht zieht, daß die Regenwolken und namentlich die sommerlichen Gewitterregen in der Regel aus

westlichen Strichen herankommen und bald durch das Tal des Thunersees, bald über das Gebirge durchziehen, was viele Kombinationsmöglichkeiten ergibt.

Unter Bezugnahme auf Beatenberg können wir versuchen, die langjährigen Mittel der Niederschläge von Schinigeplatte zu bestimmen. Die einzelnen Monate verhalten sich allerdings gegenüber dem langjährigen Mittel verschieden, so daß unsere Interpolation nur annähernd richtig sein kann. Im Mittel der acht Beobachtungsjahre beträgt der Niederschlag in Beatenberg 102 % des langjährigen Wertes für die drei Sommermonate. Daraus ergibt sich für die drei Sommermonate auf der Schinigeplatte ein langjähriges Mittel von 461 mm. Bei der Ergänzung auf das ganze Jahr finden wir für die Schinigeplatte einen mittleren jährlichen Niederschlag von rund **1460 mm**.

Das ist für die Höhenlage von 2000 m ein niedriger Wert, steht er ja kaum höher als derjenige für das 850 m niedriger gelegene Beatenberg. H. Brockmann-Jerosch (1925) setzt in seiner Niederschlagskarte der Schweiz die Schinigeplatte zwischen die Quoten von 1600 und 1800 mm ein, W. Rytz (1939), in seinem Führer durch den Alpengarten, schätzt die Jahresniederschläge auf 1600—2000 mm. Die verhältnismäßig geringen Niederschläge unseres Gebietes, die zum mindesten für die Sommermonate durch die während 8 Jahren mit aller Sorgfalt durchgeführten Messungen sichergestellt sind, dürften im Zusammenhang stehen mit der Geländebildung, durch die der Alpengarten bereits in den Windschatten gelangt, vielleicht auch mit der Schmalheit des gegen Westen gerichteten, äußersten Ausläufers der Faulhornkette, die den Regenwolken das seitliche Ausweichen erleichtert.

Dieser verhältnismäßig bedeutenden Trockenheit mag es in Verbindung mit der ausgesprochenen Sonnenlage und dem durchlässigen Kalkboden zu verdanken sein, daß im Gebiete der Schinigeplatte manche Arten der warmen Tiefen des Thunerseetales so hoch ansteigen (vgl. W. Meier, 1930).

7. Schneefall

Schneefall ist auf der Schinigeplatte in allen Monaten des Jahres möglich. Leider haben wir keine vollständige Statistik der

Tage mit Schneefall geführt. Während der 8 Beobachtungsjahre wurde Schneefall notiert:

im Juni (unvollständig)	(27) Tage
Juli	7 Tage
August	10 Tage
September	20 Tage

Der Neuschnee kann auch im Juli und August gelegentlich mehrere Tage liegen bleiben, geht aber doch rasch wieder weg. Richtige Schneestürme haben wir in allen Monaten erlebt. Die Wirkung der Schneedecke auf die Vegetation besteht in erster Linie in einer Schädigung des Blühens. Auch die vegetativen Teile nehmen Schaden. Gras und höherwüchsige Kräuter werden niedergelegt und richten sich nur schwer wieder auf, und das Wachstum zeigt sich gehemmt.

8. Hagel

Leichter und rasch vorübergehender Hagel tritt wohl alljährlich einige Male auf. Etwas stärkerer Hagelschlag wurde in den 8 Beobachtungsjahren 11mal notiert. Mehrmals trat starker Hagel auf, der die Vegetation bedeutend schädigte und das Wachstum nachhaltig hemmte, so in den beiden Jahren 1941 und 1942. Ein starkes Hagelwetter beschädigte am 13. Juli 1931 auch die meteorologischen Instrumente.

9. Tau

Taubildung tritt bei normaler Weterlage während der Vegetationsperiode regelmäßig und meist sehr ausgiebig auf. Bei Föhnströmung geht die Taubildung stark zurück und kann völlig ausbleiben. (Vgl. dazu die eingehende Darstellung von Taumessung und Tauniederschlag, S. 363).

10. Zusammenfassung

Die allgemeinklimatischen Verhältnisse des Schinigeplattegebietes wurden für die Monate Juni bis September näher untersucht. Diese Monate umfassen die ganze Vegetationszeit, wobei sich das Wachstum der Pflanzen im wesentlichen auf die Zeit von Mitte Juni bis Ende August konzentriert. Die Vegetationszeit zeichnet sich aus durch starke Himmelsbedeckung, verhältnismäßig wenig Sonnenschein und häufige, kalte Nebel, die nicht nur

bei Schlechtwetter, sondern auch bei Aufhellung das Gebiet tagelang einhüllen und sich auch bei sommerlicher Schönwetterlage an den Gebirgshängen täglich neu bilden können. Die Temperaturen sind, der Höhenlage entsprechend, im Mittel und namentlich bei Schlechtwetter niedrig; Fröste treten in jedem Monat auf und sind im Juni und September eine häufige Erscheinung. Auch im Juli und August können die Temperaturen tagelang um den Nullpunkt stehen. Bei klarem Himmel führt aber die starke Höhenstrahlung der Sonne (Lichtwerte wurden bis auf 192 000 Lux gemessen) zu einer raschen und kräftigen täglichen Aufwärmung, der eine starke nächtliche Abkühlung folgt. Die um 21.30 Uhr gemessenen Temperaturen sind niedriger als die morgens um 7^{1/2} Uhr, im Gegensatz zu den verglichenen Stationen des Talgrundes und des Vorlandes. Immerhin ist die mittlere Tagesschwankung bei den Stationen der Tieflagen größer. Die monatlichen Temperaturmittel und der jahreszeitliche Verlauf der Aufwärmung sind von Jahr zu Jahr starken Schwankungen unterworfen. In der Beobachtungszeit 1931/34 schwankten die Temperaturmittelwerte des August von 7,1—11,9°, die des Septembers von 3,8 bis 9,9°, und das Verhältnis der beiden wärmsten Monate, des Juli und des August, drehte sich von 8,4°:11,9° im Jahre 1932 auf 10,5°:7,1° im Jahre 1934.

Die relative Luftfeuchtigkeit zeigt in den Mittelwerten gleiche Größen wie die benachbarte Talstation Interlaken und die im Vorlande gelegene Station Bern sie aufweisen. Doch hat Schiniggeplatte bedeutend kleinere mittlere Tagesschwankungen und eine etwas andere tageszeitliche und jahreszeitliche Verteilung. Die Niederschläge sind, absolut genommen, hoch und erfolgen häufig, so daß eine Woche ohne Niederschlag eine Seltenheit ist. Sie werden für die 3 Sommermonate Juli/September im Mittel auf 461 Millimeter berechnet, für das ganze Jahr auf 1460 mm. Die monatlichen Gesamtsummen sind von Jahr zu Jahr starkem Wechsel unterworfen, namentlich in den Monaten August und September. Während der 8jährigen Beobachtungsdauer schwankten die Augustwerte von 60—212 mm, die Septemberwerte von 54—230 Millimeter. Ähnliche Schwankungen finden sich auch innerhalb des gleichen Jahres (1933: VII./VIII./IX. = 156/60/185 mm). Schneefall kann in jedem Monat eintreten. Auch Hagel ist nicht

selten. Die Taubildung ist reichlich und fällt nur bei Föhnwetter aus.

Vom Juni gegen den Herbst hin treten charakteristische Veränderungen in der Witterung auf, die sich im Vorland weniger ausgeprägt finden oder fehlen: die Himmelsbedeckung und die Nebelbildung nehmen ab; die Niederschläge werden geringer; die relative Luftfeuchtigkeit wird kleiner. Im September wird die Verbesserung der Witterungsfaktoren kompensiert durch die starke Verkürzung der Tage und die damit verbundene Abnahme der Sonnenscheinstunden und der Erwärmung. Doch steht die mittlere Temperatur des Septembers relativ hoch, höher als die des Juni, während in den Vergleichsstationen aus tieferer Lage das umgekehrte Verhältnis eintritt. Das klimatische Sommeroptimum fällt oft in den August.

Dieser Witterungscharakter dürfte für ähnliche Höhenlagen in den nördlichen Schweizer Alpen charakteristisch sein und ist als ausgesprochen humid zu bezeichnen. Auf der Schinigeplatte sind aber doch einige Besonderheiten zu vermerken, die einerseits mit der Lage am Westende der Faulhornkette, hoch über dem Thuner- und Brienerseetal, anderseits mit der südöstlich gerichteten Abdachung zusammenhängen. Die westlichen Winde werden zum großen Teil abgelenkt und kommen in das Gebiet des Alpengartens über den Grat der Bergkette von nördlichen Strichen her. Sie werden dabei, wie auch die Nordwinde, in ihrer Heftigkeit sehr gemildert. Die Niederschläge sind verhältnismäßig niedrig, nur so hoch wie in dem 800 m tiefer, auf der Sonnseite des Thunerseetales gelegenen Beatenberg. Vor allem ist aber hervorzuheben, daß am Morgen die Aufwärmung und die Auftrocknung der Luft bereits sehr früh eintritt und, in Verbindung mit einer beinahe regelmäßig eintretenden, frühzeitigen Bewölkungszunahme, bereits im Laufe des späten Vormittags, jedenfalls vor der mittäglichen Terminablesung (13¹/₂ Uhr) ihren Höhepunkt erreicht. Zur Zeit der morgendlichen Terminablesung (7¹/₂ Uhr) sind die nächtlichen Minimalwerte schon weit überschritten, und die mittlere Temperaturdifferenz zwischen der Morgen- und der Mittagablesung beträgt in den Sommermonaten im Mittel nur 3,5°. Anderseits tritt gegen Abend eine frühzeitige und rasche Abkühlung der Luft und Zunahme der Luftfeuchtigkeit ein, so

daß in der Regel die Werte der Abend-Terminablesung (21^{1/2} Uhr) den nächtlichen Minimalwerten nahestehen. Trotzdem die mittlere Tagesschwankung der Temperatur wesentlich kleiner ist als in den verglichenen Tal- und Vorlandstationen, so macht sich bei der relativ niedrigen Luftwärme die rasche Abkühlung im Nachmittag für den menschlichen Organismus stark geltend. Bei gutem Wetter dauert die Zeit des angenehmen Aufenthaltes im Alpengartengebiet vom frühen Morgen bis um 15—16 Uhr, selten länger. Etwas anders verhält es sich in der Umgebung des nur wenige Minuten gegen Westen gelegenen Hotels, wo infolge der freien Lage gegen Westen hin die Aufwärmung am Morgen zwar weniger intensiv einsetzt, dafür aber länger andauert, wenn die Bewölkungsverhältnisse dies gestatten.

Es fällt nicht in den Rahmen dieser Arbeit, weitergehende Vergleiche des Allgemeinklimas durchzuführen. Immerhin wollen wir einige Daten aus der eingehenden Klimabeschreibung des Berninapasses (2300 m) bringen, die E. Rübel im Jahre 1912 veröffentlicht hat, nach Messungen in den Jahren 1905 und 1906.

Sie ermöglichen den Vergleich mit einem zentralalpinen, kontinental gefärbten, auch vegetationskundlich eingehend durchgearbeiteten Alpengebiete, das um rund 300 Meter höher liegt als die Schinigeplatte. Der Vergleich wird zwar dadurch erschwert, daß ganz andere Beobachtungsjahre verglichen werden müssen. Aber gewisse charakteristische Daten lassen sich doch herauslesen. Zwar können wir die Bewölkungsverhältnisse, obschon sie für die Beobachtungsjahre nicht wesentlich verschiedene Werte ergeben, nicht vergleichen. Denn im langjährigen Durchschnitt dürfte die sommerliche Bewölkung am Berninapaß, wie im ganzen Engadin und überhaupt im Gebiete der Zentralalpen, merklich kleiner sein als auf der Schinigeplatte (s. S. 196). Augenscheinlich hat die Schinigeplatte im Sommer viel mehr Nebel als Berninahospiz (52 gegenüber 26 Tagen). Die Lichtstrahlung ist im Berninagebiet stärker (vgl. Muottas Muraigl n. D o r n o, S. 261). Die maximale Besonnungszeit fällt für den Berninapaß auf den Mittag, bei sehr kleinen Unterschieden zwischen 7—14 Uhr. Der Himmel ist also nicht am Morgen am klarsten, wie auf der Schinigeplatte. Der Schinigeplattentyp ist aber jedenfalls in den Nordalpen verbreitet, besonders im Gipfelgebiet. H a n n (cit. nach R ü b e l) gibt für den in den nördlichen Ostalpen gelegenen Sonnblickgipfel auch die häufigste Besonnung für den Morgen an (8—9 h). — Wenn wir versuchen, die beobachteten Werte für die Lufttemperatur auf die langjährigen Mittel zu beziehen, so ergeben sich in den Monaten Juni und Juli für Schinigeplatte und Berninapaß gleich hohe Mittelwerte, während Bernina im August um 1.6° und im September um 2.1° kälter ist. Da infolge der höheren Lage die Mitteltemperaturen am Berninapaß um ca. 1.5° kleiner sein sollten, so ergibt sich, daß im Berninagebiet die erste Sommerhälfte wesentlich wärmer ist als auf Schinigeplatte, der Herbst dagegen etwas kühler. Diese größere sommerliche Erwärmung ist auch für das anstoßende Inntal charakteristisch, das bei 1750 bis 1800 m Meereshöhe nach P a l l m a n n und H a f f t e r eine mittlere

Temperatur der Sommermonate von 11.5° aufweist, also 3° höher als die Schinigeplatte (nach der Höhendifferenz nur 1°). Über den Zeitpunkt der maximalen täglichen Erwärmung finden wir keine Angaben. Sie läßt sich aber aus der relativen Luftfeuchtigkeit herauslesen (s. unten). Es ist anzunehmen, daß das vormittägliche Temperaturmaximum, das wir auf Schinigeplatte gefunden haben, eine Ausnahme bildet, bedingt durch die in östlicher Himmelsrichtung gehende Exposition des Alpengartens. So haben z. B. W. Kreutz und H. Wehrheim (1942) in den Ostalpen (Großglocknergebiet) die Maxima der Lufttemperatur erst zwischen 13—16 Uhr gefunden. Die täglichen Temperaturschwankungen sind am Berninapaf höher als auf der Schinigeplatte, vor allem im Juni und Juli. Während auf der Schinigeplatte die Temperatur zur Zeit der Abendterminablesung niedriger ist als zur Zeit der Morgenablesung, sind im Berninahospiz in den Monaten Juli bis September die Abende wärmer. Bernina verhält sich also gleich wie die mit Schinigeplatte verglichenen Talstationen Interlaken und Bern. — Von besonderem Interesse ist der Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit. Die Luft ist während der Beobachtungsjahre auf Berninapaf stets trockener als auf der Schinigeplatte¹, wobei der Unterschied vom Juni zum September immer kleiner wird (Juni 13 %, September 2,5 %). Das ist wohl eine Gesetzmäßigkeit, die auch bei richtigen Vergleichsreihen bestehen bleiben würde. Das absolute Minimum der relativen Luftfeuchtigkeit ist auf Berninapaf kleiner (21 gegen 26 %); die Schwankungen innerhalb des Tages sind bedeutend größer, und namentlich ist der Unterschied zwischen der Morgen- und der Mittag-Terminablesung auf Berninapaf doppelt so groß als auf der Schinigeplatte. Der Morgenwert ist also relativ hoch. — Die Niederschläge während der vier Sommermonate schwanken sehr. Sie verhielten sich in den beiden Beobachtungsjahren wie 1 : 3, erreichen aber doch bedeutende Werte. Rübel errechnet für Berninapaf einen mittleren jährlichen Niederschlag von ca. 1600 mm, was bei Berücksichtigung der Niederschlagszunahme mit steigender Höhenlage in die Größenordnung der Schinigeplatte-Niederschläge fällt. Im anstoßenden Inntal dagegen, das 200 m tiefer liegt als die Schinigeplatte, sind die Niederschläge außerordentlich viel geringer. Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt nach R. Billwiller (1948) in Pontresina nur 815 mm, in den übrigen Oberengadiner Stationen wenig mehr.

Zusammenfassend können wir sagen: Berninahospiz ist, verglichen mit Schinigeplatte, während der Sommermonate etwas strahlungsreicher, sonniger, nebelärmer, trockener, namentlich was die Lufttrockenheit anbetrifft, im Vorsommer wärmer, mit stärkeren Extremen. Die tägliche Aufwärmung erfolgt später. Das Klima ist also merklich kontinentaler; aber die Unterschiede sind nicht von grundlegend änderndem Maß.

Wenn im vorstehenden das Allgemeinklima der Schinigeplatte für die Vegetationszeit als feucht-kühl bezeichnet wurde, so steht dies in einem gewissen Gegensatz zu der Ansicht der Davoser Klimatologen, welche die große Trockenheit, vor allem die Lufttrockenheit, des Hochgebirgsklimas betonen. Sie gehen davon

¹ Im Inntal rechnen P a l l m a n n und H a f f t e r (1933) für die Sommermonate eine mittlere relative Luftfeuchtigkeit von 70—72 % aus (Schinigeplatte = 75 %).

aus, daß die Strahlungsintensität mit steigender Höhenlage stark zunimmt, der absolute Gehalt der Luft an Wasserdampf dagegen eine bedeutende Abnahme erfährt, die zwar infolge der niedrigeren Temperatur in der relativen Luftfeuchtigkeit nicht zum Ausdruck kommt. C. Dorn (1927, S. 12) spricht sogar von außerordentlicher Trockenheit der Höhen und polemisiert gegen den polnischen Klima-Botaniker D. Szymkiewiczs, der das Klima der Alpen für die Pflanzen als feucht bezeichnet habe. W. Mörikofer (1932, S. 59) vergleicht die Trockenheit des Hochgebirges mit dem Wüstenklima.

Dazu möchten wir folgendes bemerken. Unsere Einschätzung bezieht sich nur auf die Vegetationszeit. Im Winter ist das Gebirge ganz allgemein niederschlagsärmer, lufttrockener und relativ sonnenreicher. Ferner haben Dorn und Mörikofer ihre Untersuchungen vor allem in dem kontinentaleren, niederschlagsärmeren und strahlungsreicheren zentralen Graubünden ausgeführt. Mörikofer (1932, S. 13) macht darauf aufmerksam, daß im Gebirge die Klimaverhältnisse selbst benachbarter Gegenden wesentlich verschieden sein können. Und sein Überblick über die Bewölkungsverhältnisse (Mörikofer, 1947) läßt klar erkennen, daß das nahe der Schinigeplatte gelegene Beatenberg in dieser Hinsicht viel ungünstiger gestellt ist als Davos (vgl. S. 196).

Vor allem aber betrachten diese Forscher das Klima vom Standpunkte des menschlichen Organismus aus, der die Luft des Hochgebirges subjektiv als trocken empfindet. Von der Vegetation aus gesehen wird man aber ein Klima, wie das der Schinigeplatte, generell nicht als trocken bezeichnen können. Dagegen sprechen schon die regelmäßige, starke und lange andauernde Taubildung, die große Bodenfeuchtigkeit und die regionalen Vorgänge einer humiden oder perhumiden Bodenbildung. Letzteres bleibt, auch bestehen, wenn wir mit Pallmann und Haffter (1933, S. 440) annehmen, daß sich die Humidität oberhalb der Waldgrenze infolge der zunehmenden Windwirkung etwas kleinere.

Allerdings ergeben sich auf kleinem Raume je nach der Exposition starke Verschiedenheiten des Lokalklimas, die von Dorn nicht berücksichtigt werden, trotzdem sie die Verteilung der Vegetation in maßgebender Weise bestimmen. Die starke

Austrocknung, der die Pflanzen bei schönem Wetter an den Sonnenhängen tagsüber ausgesetzt sind, wird meist schon in der folgenden Nacht kompensiert durch den Wassernachschub aus den feuchten Bodentiefen und durch die nächtliche Taubildung, über größere Zeiträume aber ausgeglichen durch die reichlichen Niederschläge bei den regelmäßig und häufig eintretenden Schlechtwetterperioden. Der Mensch empfindet diese Faktoren weniger stark, da er sich des Nachts und bei Regen oder nassem Nebel zurückzuziehen pflegt; wer aber schon die Nächte im Freien zubringen mußte, weiß, daß nicht nur die Kälte, sondern auch die Feuchtigkeit unangenehm empfunden werden. Auf der Schinigeplatte wird in der Regel das Schreibpapier im Freien bereits am späten Nachmittag so feucht, daß es sehr erschwert ist, mit dem Bleistift Aufzeichnungen zu machen.

b) Das Mikroklima

1. Allgemeines

Mit den mikroklimatischen Messungen versuchten wir, die lokalen Klimaunterschiede, die in der verschiedenartigen Vegetation auf dem kleinen Raume des Alpengartens auftreten, möglichst umfassend kennenzulernen. Wir legten deshalb Gewicht darauf, die Untersuchungen sowohl in Gesellschaften, die mittlere Klimawerte erwarten ließen, als auch in solchen von mehr extremer Art auszuführen. Unsere wichtigsten Studienobjekte wurden das Nardetum, das in bezug auf die Lage zugleich auch als Repräsentant des Crepideto-Festucetum rubrae commutatae dienen konnte, das Seslerieto-Semperviretum, das Empetreto-Vaccinietum und die sogenannte Windecke, ein auf dem Rande des großen Felsens gelegener, schmaler Rücken, der mit Dryadetum octopetalae bewachsen ist und sich durch die starke Windströmung auszeichnet. Gewisse Messungen wurden außerdem in verschiedenen Teilen der Festuca rubra-Frischwiese und im Caricetum ferrugineae ausgeführt. Innerhalb der genannten Gesellschaften errichteten wir an floristisch gut charakterisierten Stellen zur Messung der Temperaturen, der Luftfeuchtigkeit, der Wasserverdunstung und der Niederschläge eine oder zwei feste Stationen (vgl. Abbildung 51), die nachstehend aufgezählt sind:

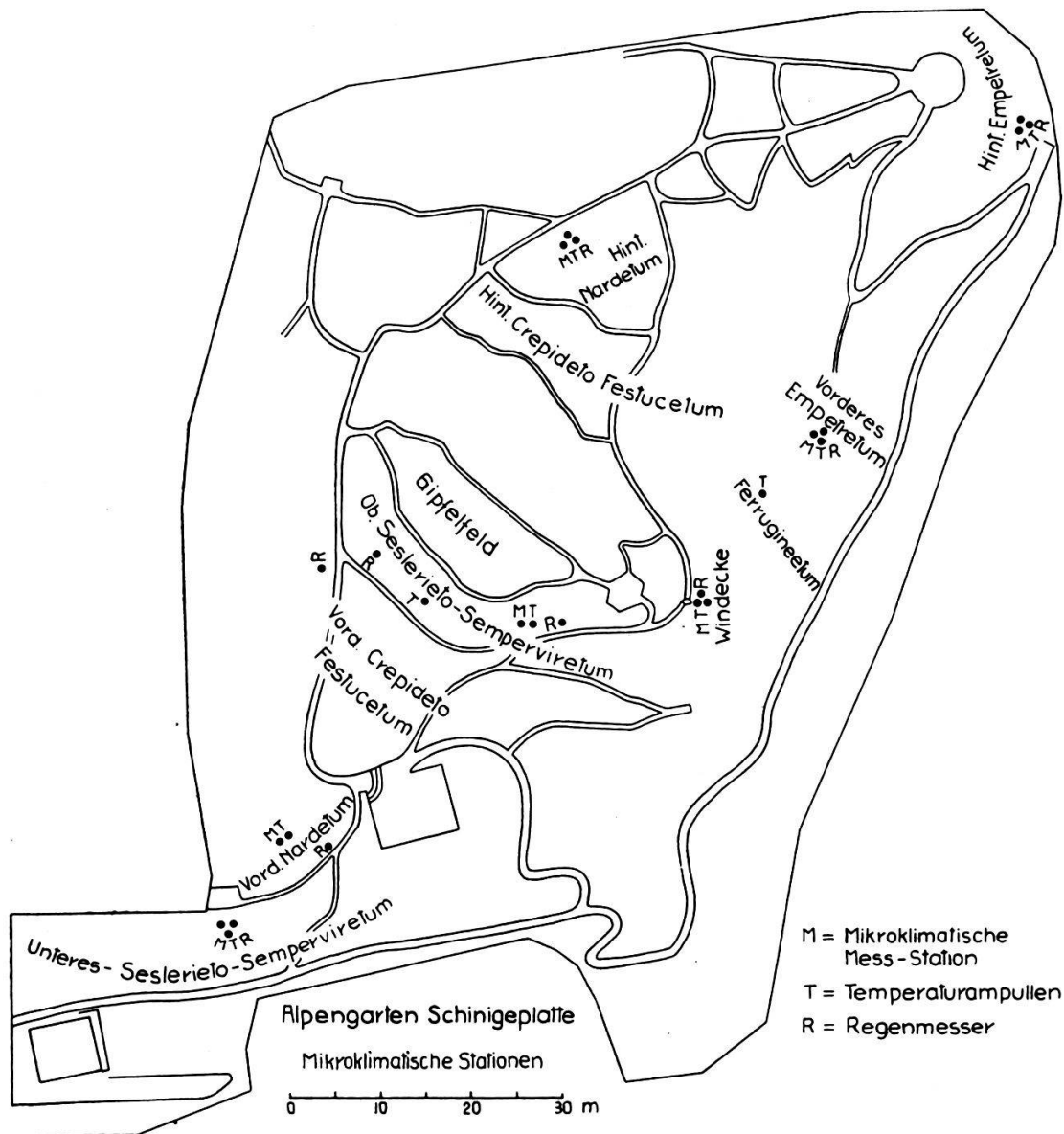


Abb. 51. Die Standorte der mikroklimatischen Meßstationen im Alpengarten Schinigeplatte.

	Exposition	Neigung des Hanges
Unteres Seslerieto-Semperviretum	SE	ca. 50°
Oberes Seslerieto-Semperviretum	SE	ca. 50°
Oberes Seslerieto-Semperviretum	S	ca. 50°
Windecke	flach	—
Vorderes Nardetum	ESE	ca. ±20°
Hinteres Nardetum	E	ca. ±15°
Vorderes Empetretum	NNE	ca. 50°
Hinteres Empetretum	NNE	ca. 50°

Auch die Lichtmessungen, Windmessungen und Taumessungen wurden stets ungefähr an den gleichen Stellen vorgenommen. Doch war die Zahl dieser Stationen bedeutend größer und zeit-

weilig wurden sie gewechselt, um die Unterschiede innerhalb eines Bestandes erfassen zu können.

Die hauptsächlichsten Messungen führten wir in den Jahren 1931 und 1932 aus. Ergänzende Untersuchungen, besonders Lichtmessungen und Taumessungen, setzten wir bis ins Jahr 1947 fort.

Alle Stundenangaben beziehen sich auf mitteleuropäische Zeit, die der Ortszeit um etwa eine halbe Strunde vorangeht.

2. Die Besonnung

Einen Überblick über die allgemeinen Besonnungsverhältnisse im Alpengartengebiet haben wir bereits bei der Besprechung des Allgemeinklimas gegeben (S. 194). Wir wollen hier noch auf die Besonderheiten näher eintreten.

Die Dauer der maximalen Besonnungsmöglichkeit verschiedener Teile des Alpengartens ist abhängig von der Sonnenhöhe und der Exposition. Die Zeit der langen Tage wirkt sich nicht nur durch verlängerte Sonnenscheindauer aus, sondern infolge des höheren Sonnenstandes auch durch Übergreifen der Besonnung auf die Schattenhänge. Nimmt die Tageslänge ab, so sinkt zugleich auch die Sonnenhöhe, und die Schattenhänge werden in viel höherem Maße sonnenärmer als der Verkürzung der Sonnenscheindauer entspricht. Als Folge der Geländebildung sind innerhalb des Alpengartens bedeutende örtliche Unterschiede in der Besonnungsdauer vorhanden, die sich besonders auf den Sonnenuntergang beziehen. Die Sonne gelangt während der Vegetationszeit, wo sie zwischen E und NE aufgeht, schon beim Aufgang beinahe überall hin. Die südlichen, westlichen und nordwestlichen Hänge, welche die Sonne erst später erhalten, umfassen nur ein kleines, um die zentrale Kuppe gelagertes Gebiet, das im Süden und Südwesten als Vegetation das *Seslerieto-Semperviretum* trägt, von Westen gegen Nordwesten frische Rasen des *Crepideto-Festucetum rubrae* und des *Caricetum ferrugineae*. Die im Alpengarten von der Sonne bei ihrem Aufgang beschienene Fläche verschiebt sich vom längsten Tag gegen den Herbst hin beträchtlich gegen Süden. Am 21. Juni geht die Sonne im Alpengartengebiet von Norden bis Südosten um 4.55 Uhr auf, in den mittleren Teilen des oberen *Seslerietums* (Südlage) erst ca. um 7.00 Uhr. Am 1. Okto-

ber dagegen erfolgt der Beginn der Sonnenbestrahlung auch im Südteil des oberen Seslerietums zur gleichen Zeit wie in den östlichen und nordöstlichen Gartenteilen, nämlich um 7.00 Uhr.

Viel individueller gestaltet sich im Alpengarten der Sonnenuntergang. Wir haben auf der Tabelle 50 die beobachteten Zeitpunkte, da die verschiedenen Lokalitäten in den Schatten kommen, zusammengestellt für den 21. Juni, den 15. August und den 1. Oktober. Für die treppig gestuften Hänge, namentlich des Empetretums und des untern Seslerietums, kann der Zeitpunkt des Sonnenunterganges nur ungefähr gegeben werden, da die Stufen früher beschattet sind als die Absätze und hier je nach Lage und Breitenausdehnung wieder beträchtliche Unterschiede

TABELLE 50

Zeitpunkt der Sonnenaufgänge und Sonnenuntergänge in den verschiedenen Teilen des Alpengartens Schinigeplatte (mitteleuropäische Zeit).

Örtlichkeit	21. VI	15. VIII	1. X
<i>a) Sonnenaufgang</i>			
Alpengartenhaus und alle (N-), NE-, E-, SE-exponierten Gartenteile	4.55	6.12	7.00
Ob. Seslerietum, mittlere Teile, annähernd S-Exp.	7.00		7.00
<i>b) Sonnenuntergang</i>			
westl. Hotel, frei gegen das Vorland	20.25	19.50	18.05
Windecke	19.00	18.05	16.10
Unt.Seslerietum, SE-Hang	16.00	15.25	15.00 (14.10—15.30)
Ob. Seslerietum, SE-Hang	17.00	16.15	15.00
Ob. Seslerietum, S-Hang	17.15	16.45	15.45
Ob. Seslerietum, SW-Hang	19.00	17.15	15.30 (15.00—15.45)
Vord. Nardetum, ESE-Hg.	17.15	16.30	16.00
Hint. Nardetum, E-Hang	18.30	17.00	15.35
Hint. Frischwiese, E-Hang	19.00	17.00	15.00
Vord. Empetretum, NE- u. NNE-Hang	ca. 15.00 (14.00—18.00)	ca. 13.15 (11.00—14.00)	ca. 11.30 (9.00—13.30)
Hint. Empetretum, NE- u. NNE-Hang	ca. 15.00 (14.00—18.30)	ca. 13.00	ca. 11.45 (9.00—14.00)

auftreten. Wir haben als lokalen Sonnenuntergang den Augenblick gewählt, da der ganze Hang mit Ausnahme der Ränder der breitesten Absätze in den Schatten kam. Die Besonnungszeiten sind also eher etwas lang angegeben. Abb. 46, S. 195, enthält die bildliche Darstellung der Besonnungsdauer. Die kräftigen Linien zuoberst und zuunterst bedeuten die äußersten Zeiten des Sonnenaufganges, resp. des Sonnenunterganges für die Umgebung des Alpengartens, die feinen Linien die lokale Abwandlung in den einzelnen Pflanzengesellschaften. Wir sehen, wie die Sonne aus den am längsten besonnten Teilen des Alpengartens rund $2\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden früher weggeht als aus der näheren Umgebung. Diese frühe Beschattung wird durch den westlich vom Alpengarten ansteigenden Berggrat der Geiß und durch die gegen Osten und Südosten geneigte Lage des Alpengartengeländes bedingt. Aber die einzelnen Teile des Untersuchungsgebietes werden in ungleichem Maße betroffen. Am längsten scheint die Sonne auf der Windecke, weitaus am kürzesten im Empetretum. Hier geht die Sonne auch am längsten Tage für den Hauptteil des Bestandes schon ca. um 15.00 Uhr unter, vier Stunden früher als auf der Windecke. Gegen den Herbst hin verschärft sich das Verhältnis sehr stark zu Ungunsten des Empetretums, das Ende September nur bis ca. 11.30 Uhr in der Sonne liegt. Ja, auf den inneren Teilen der Absätze und auf den Stufen geht die Sonne bereits vor 10 Uhr weg und trifft von 9 Uhr an nur ganz schief auf, so daß die Strahlungswirkung äußerst gering ist.

Wir haben versucht, für die Windecke und das vordere Empetretum die Zahl der möglichen Sonnenscheinstunden zu berechnen und erhalten für die Windecke während der 4 Monate Juni bis September eine Summe von ca. 1500 Stunden, für das vordere Empetretum ca. 950 Stunden, also nur etwa 63 %. Infolge der schwächeren Bewölkung im Vormittag wird das Verhältnis der wirklich erhaltenen Sonnenscheinstunden für das Empetretum etwas günstiger ausfallen. Aber der sehr bedeutende Abfall gegen die Windecke bleibt doch bestehen.

Seslerietum, Nardetum, Frischwiese ordnen sich zwischen die Extreme von Empetretum und Windecke ein. Die kürzeste Besonnung nächst dem Empetretum, aber doch $1\frac{1}{2}$ — $3\frac{3}{4}$ Stunden mehr, genießt das untere Seslerietum, dann folgt das obere Ses-

lerietum E, das vordere Nardetum, das hintere Nardetum, die Frischwiese SE, das obere Seslerietum SW. Auffallend ist die starke Verkürzung der Besonnung, welche das hintere Festucetum und die angrenzenden Gebiete vom August bis gegen Ende September hin erfahren. Sie rührt davon her, daß bei dem niederen Sonnenstand der Grat auf der Westseite des Alpengartens sich stärker auswirkt, die an seinem Fuße liegende Frischwiese in seinen Schatten bringt und darüber hinaus seinen Schlagschatten bis gegen die zentralen Teile des Alpengartens wirft. Zur Zeit der langen Tage dagegen umgeht die Sonne dieses Hindernis und scheint gegen Abend von Westen her neben diesem Bergrücken durch, bis sie, allerdings auch sehr vorzeitig, hinter dem etwas weiter entfernten Gummihorn verschwindet. Das weitverbreitete Caricetum ferruginae findet sich meist an steilen Ost- und Nordosthängen und verhält sich mit Bezug auf die Besonnung ähnlich wie das Empetretum, meist etwas günstiger. Der besonders charakteristische Ferrugineetum-Hang im Großen Spalt, in dem wir die Böden untersuchten, einzelne Temperaturmessungen ausführten und Dauerflächen anlegten, hat Ost-Exposition und wird durch den Schlagschatten des großen Felsens sehr beschattet. Er erhält die starke morgendliche Aufwärmung wie das benachbarte vordere Empetretum, kommt aber um Mitte August bereits zwischen 11.30 und 12.30 Uhr in den Schatten der Felswand, hat also noch weniger Lichtgenuß als der Empetretum-Hang.

Im allgemeinen sind das Seslerietum und das Ericetum Pflanzengesellschaften der Sonnenhänge, das Empetretum und Ferrugineetum solche der Schattenhänge; das Festucetum zieht leichten Halbschatten vor und das Nardetum etwas gemäßigte Sonnenlage. Diese Beziehung zwischen den Pflanzengesellschaften und der Besonnung ist aber nicht immer klar ausgeprägt. Einzelne Gesellschaften weisen in bezug auf die Besonnung weitgehende Toleranz auf, wobei die Bodenverhältnisse von großem Einfluß sind. Gesellschaften, die als charakteristisch für eigentliche Sonnenhänge gelten, können, ohne eingreifende floristische Veränderungen zu erleiden, auch mit relativ kurzer, aber intensiver Besonnung auskommen (unteres Seslerietum). Nur das Empetretum erweist sich als ausgesprochen stenözisch und ist gänzlich auf die Schattenlagen beschränkt.

3. *Das Licht*

Es wäre von Interesse gewesen, eingehende Untersuchungen über die Gesamtstrahlung sowie die Anteile der langwelligen und kurzwelligen Strahlen in den verschiedenen Pflanzengesellschaften durchzuführen. Aus verschiedenen Gründen mußten wir davon absehen, unsere Arbeit in dieser Richtung auszubauen. Immerhin gibt uns die eingehende Untersuchung der Temperaturverhältnisse einen Ausdruck für die Wärmestrahlung, und die Prüfung der Lichtverhältnisse mit dem Luxmeter und dem Graukeilphotometer gibt Einblick in die kurzwellige Strahlung. Namentlich das Graukeilphotometer mißt ja im wesentlichen nur kurzwellige Strahlung. Für unsere Zwecke, die einen Überblick über die Variation der Umweltfaktoren vermitteln wollen, kommen wir mit diesen Angaben aus.

Messung von Lichtsummen mit dem Graukeil- photometer von Eder—Hecht

Die verwendeten Graukeile sind in Holzkassetten eingeschlossen, von ähnlicher Bauart, wie die photographischen Kopierrahmen sie aufweisen. Um sie für den Feldgebrauch geeignet zu machen, stülpten wir ein Metallgehäuse mit Milchglasscheibe darüber. Die Metallgehäuse waren auf der Hinterseite, die bei der Exposition nach unten gekehrt ist, offen oder bei anderen Instrumenten durch einen Metalldeckel geschlossen. Diese geschützten Instrumente erzeugten sich als ziemlich wetterbeständig. Nur selten drang etwas Feuchtigkeit in die Kassette hinein. Die Milchglasscheiben, die zudem nicht bei allen Instrumenten gleich breit waren, veränderten den Lichteintritt, und die Photometer mußten neu geeicht werden. Dies geschah durch das Physikalisch-Meteorologische Observatorium in Davos, das auch den Umbau der Instrumente ausführte und uns drei neue Instrumente hinzu lieferte, deren Milchglasscheiben direkt in die Innenkassette eingekittet war. Das lichtempfindliche Papier, das wir ebenfalls von dem Davoser Observatorium bezogen, war auf den Davoser Standard geeicht, mit einer Korrektionsdifferenz, die nie mehr als 1—2 Skalenteile ausmachte.

Die Messungen umfaßten, mit Ausnahme einiger Spezialuntersuchungen, jeweilen eine ganze Tagessumme. Wir legten die Instrumente des Abends bei einbrechender Dunkelheit aus, entweder genau horizontal und parallel dem Hang oder in der Richtung des Hanges geneigt, gewöhnlich direkt auf den Erdboden, im Jahre 1932 auf eine Holzunterlage (s. Abb. 58, 61, 73, 74). Am nächsten Abend um die gleiche Zeit wurden die Photometer eingeholt und die exponierten Streifen entnommen. Das Fixieren und das Ablesen der fixierten Streifen erfolgte nach den Vorschriften von C. D o r n o, von 1934 an mit Berücksichtigung der von W. M ö r i k o f e r herausgegebenen Ratschläge zur Verbesserung des Fixierens.

Die Messung der Lichtstärke mit dem Graukeilphotometer bietet für ökologische Untersuchungen große Vorteile: die Instrumente sind billig und leicht zu handhaben. Sie können deshalb in der Mehrzahl aufgestellt werden und erlauben vergleichende Untersuchungen ohne allzu große Kosten und

mit kleinem Zeitaufwand. Es haften ihnen aber auch verschiedene Nachteile an. Einmal registrieren sie nur einen kleinen Ausschnitt aus dem Lichtspektrum, die photographisch wirksamen, kurzwelligen Strahlen, mit einem Maximum bei der Wellenlänge von ca. 400 μ . Das ist bei vergleichenden Untersuchungen, wie wir sie ausführten, kein großer Nachteil. Kritisch ist dagegen die Sicherheit der Ergebnisse. W. Hecht und W. Mörikofer haben mit eingehender Begründung nachgewiesen, daß beim Fixieren sehr große Fehler entstehen können und Mörikofer hat eine Verbesserung des Fixierens vorgeschlagen, die den Fixierfehler auf ein erträgliches Maß einschränkt. Diese Autoren haben auch gefunden, daß der Davoser Standard sich im Laufe der Zeit weitgehend verschoben hat und jüngere, mit dem Photometer festgestellte Lichtwerte gegenüber den älteren viel zu niedrig erscheinen. Es wurde dann im Jahre 1939 ein neuer Davoser Standard aufgestellt, der sich an die jüngeren Standardwerte anschließt. Auch beim Ablesen der Streifen können wesentliche Fehler entstehen infolge ungleicher Helligkeit oder individueller Unterschiede in der Sehschärfe und der Arbeitsart bei den kontrollierenden Personen.

Im Laufe unserer Untersuchungen erhielten wir den Eindruck, daß einzelne Photometer aus dem Rahmen der zu erwartenden Werte herausfielen. Herr Dr. Mörikofer nahm auf unseren Wunsch Neueichungen vor, zuerst im Jahre 1937 die Photometer 7 und 8, dann im Jahre 1940 sämtliche 11 Instrumente, wobei drei von ihnen eine neue Kassette erhielten, und schließlich in den Jahren 1942/43 nochmals sämtliche Instrumente. Wir sind ihm für die mühsamen und mit großer Sorgfalt durchgeführten Eichungen, wie überhaupt für die Hilfe bei diesen Lichtmessungen, zu großem Danke verpflichtet.

Die Korrektionsformeln wurden bei jeder Eichung etwas anders. In Tabelle 51 geben wir eine Zusammenstellung über die Lichtsummen für eine beliebig angenommene Zahl von abgelesenen Skalenteilen (wir wählten eine mittlere, häufig auftretende Größe) nach den verschiedenen Eichungen. Streng vergleichbar sind die Eichungen von 1940 (für Nr. 4—6 neue Kassetten) und 1942/43, während die älteren Messungen sich auf den alten und unsicheren Davoser Standard beziehen.

Es ergibt sich, daß die Empfindlichkeit der Photometer Schwankungen ausgesetzt ist, die nach Richtung und Ausmaß sehr verschieden sind. Verhältnismäßig kleine Abweichungen zeigen die Photometer Nr. 1, 2, 5, 7 (exkl. 1937), 9, 10, 11. Bei Nr. 3 steigen die Lichtsummen von 1932 auf 1940 auf beinahe den doppelten Wert, während die beiden letzten Eichungen gut übereinstimmen. Nr. 4 macht von 1932 auf 1940 einen Sprung auf das Doppelte, dann sinkt der Wert in der neuen Kassette, um in zwei Jahren von neuem stark zu steigen. Nr. 6 steigt von 1932 auf 1940 und wiederum auf 1942 etwas an, fällt aber bei einer Neueichung im Jahre 1943 wieder auf den Wert von 1940 ab. Nr. 7 zeigt bei der Eichung von 1937 ein vorübergehendes Ansteigen, während Nr. 8 im Jahre 1940 einen ausgesprochenen Tiefwert zeigt.

Es ist uns unmöglich, die Ursache für die festgestellten Schwankungen der Graukeilwerte anzugeben. Eine Verwechslung der Graukeile oder der Kassetten erscheint ausgeschlossen, da sie alle einwandfrei bezeichnet sind. Milchgläser mußten keine ersetzt werden. Eher könnte man an eine Änderung der Lichtdurchlässigkeit des Graukeiles oder des Milchglases denken. In Betracht käme in erster Linie eine Abnahme der Durchlässigkeit, denn bei den Photometern mit wesentlicher Veränderung der Empfindlichkeit nehmen die Lichtsummen, die einer bestimmten Skalenzahl entsprechen, zu, besonders bei den Nummern 4 und 6. Die starke Veränderung der Nr. 3 von 1932 auf 1940 ist vielleicht darauf zurückzuführen, daß dieser Graukeil vor einigen Jahren wegen des nicht ganz dicht schließenden Gehäuses etwas Nässe aufgenommen hat. Er kopiert seither auch nicht mehr vollkommen scharf; aber bei den Neueichungen wurde kein Schaden gefunden. Eine Ausnahme von der Regel macht der Graukeil Nr. 6 von 1942 auf 1943 und Nr. 8, der bei den

TABELLE 51

Vergleich der nach den Korrektionsformeln der verschiedenen Eichungen unserer Photometer erhaltenen Lichtsummen für einen beliebigen abgelesenen Skalenwert.

Photo- meter Nr.	Keil- konstante	Abgeles. Skalen- teile .	nach den verschiedenen Eichungen berechnete Lichtsummen					
			alter Normalton Eichung			neuer Normalton Eichung		
			1932	1935	1937	1940 alte Kassette	1940 neue Kassette	1942/43
1.	0.305	90	135			161		160
2.	0.305	90	125			156		140
3.	0.305	90	255			458		465
4.	0.305	90	195			396	280	340
5.	0.401	65	315			306	260	290
6.	0.401	65	255			294	220	{275 (1942) ¹ 217 (1943)
7.	0.401	65	275		370	264		275
8.	0.188	120	155		110	71		120
9.	0.401	65		150		145		150
10.	0.401	65		200		172		210
11.	0.401	65		150		140		145

¹ Dieses Instrument wurde in beiden Jahren kontrolliert.

Eichungen von 1937 und 1940 eine deutliche Zunahme der Lichtdurchlässigkeit erkennen ließ, die sich seither wieder ausgeglichen hat. Dieser Keil mit der Keilkonstante 0,188 ist bedeutend dünner als die andern und eigentlich nur für kurzfristige Messungen bestimmt. Die Ablesung der Skalenteile nach starken Lichteinwirkungen wird ungenauer als bei den dickeren Keilen. Darum ist vielleicht auch die Eichung der höheren Skalengrade weniger zuverlässig.

Veränderungen in der Konstanz der Graukeile wurden von C. D o r n o (1925, 1927) bereits früher beobachtet, und zwar nahm die Durchlässigkeit bei andauerndem Gebrauche zu, um nach etwa Jahresfrist annähernd konstant zu werden. S c h m a u s s (nach D o r n o, loc. cit.) führte diese Erscheinung darauf zurück, daß die Graukeile ein kolloidales System bilden, das asymptotisch einem Endwerte zustrebe. In unserem Falle waren die Photometer schon ziemlich alt, wurden nicht andauernd gebraucht und verhielten sich ungleich. Die Erscheinung der Veränderung unserer Eichungskonstanten ist wohl recht komplex.

Wenn wir die geschilderten Fehlermöglichkeiten überblicken, so müssen wir uns fragen, ob überhaupt das Graukeilphotometer noch als ökologisches Meßinstrument zu gebrauchen ist. Wir glauben diese Frage bejahen zu dürfen, falls bei der Fixierung der

Streifen die nötige Vorsicht waltet, die Ablesung nach den gleichen Grundsätzen ausgeführt wird (evtl. Ablesung am unfixierten Streifen nach Hecht und Mörlikofer, 1939) und von Zeit zu Zeit eine Nacheichung des Instrumentes stattfindet. Außerdem sollten möglichst viele Parallelbeobachtungen ausgeführt und die Ergebnisse nur in den Hauptzügen ausgewertet werden.

Wir benutzten zur Berechnung der Lichtsummen für die Messungen von 1932—1936 die Eichung von 1932, resp. 1935, für die Messungen der Jahre 1938 und 1940 die Eichung von 1940 (nur für Nr. 8 die von 1937, da die Skala der Eichung von 1940 nur bis zu 120 Skalenstrichen geht), und für die Beobachtungen von 1942 und 1943 die Eichung von 1942.

Unsere Lichtmessungen mit den Photometern umfaßten verschiedene Probleme. In einer Untersuchung wurde der Unterschied zwischen dem Gesamtlicht und dem diffusen Lichte zu erfassen gesucht. Eine Reihe von Messungen widmeten wir den Lichtverhältnissen in allen Expositionen rund um die Kuppe, die den höchsten Teil des Alpengartens bildet (Gipfelfeld), wobei die Photometer zuerst sämtlich horizontal und dann in den Haupthimmelsrichtungen, je zwei Instrumente nebeneinander, das eine horizontal und das andere mit einer Neigung von 45° , aufgestellt wurden. Der Hauptteil der Messungen wurde aber zum Vergleiche der Lichtverhältnisse in den verschiedenen Pflanzengesellschaften ausgeführt, wobei die Aufstellung der Photometer in erster Linie in der Nähe der mikroklimatischen Meßstationen erfolgte, weitere Instrumente aber benützt wurden, um auch andere Punkte der gleichen Pflanzengesellschaft abzustasten oder die Frischwiesengebiete, die keine feste Station besaßen, einzubeziehen.

Die große Mehrzahl der Messungen mußte bei wechselnder Bewölkung ausgeführt werden. Das beeinflusste die Ergebnisse der verschiedenen Stationen in ungleicher und immer wieder anderer Weise. Verschiedene Beobachtungen entfielen auf trübe Tage. Die Arbeitsverhältnisse brachten es weiter mit sich, daß die Messungen sich auf die verschiedenen Jahre ungleich verteilen und der Monat August bevorzugt erscheint. Systematische Untersuchungen wurden vor allem im Jahre 1932 und in kleinerem Umfange im Jahre 1942 ausgeführt. Wir geben einen Überblick über die Ergebnisse, wobei wir angesichts der Fehlermöglichkeiten und der Unausgeglichenheit in den Beobachtungszeiten eine Auswertung nur in den großen Zügen vornehmen.

Allgemeine Untersuchungen. Die gemessenen Tagesgesamtwerte kann man aus den folgenden Tabellen entnehmen. Sie schwanken naturgemäß sehr, da die Untersuchungen bei ungleichem Wetter ausgeführt wurden und Tage mit verschiedener Länge und verschieden hohem Sonnenstande umfassen. In den monatlichen Mittelwerten finden wir die höchste Lichtwirkung im Juni, die geringste im September/Okttober. Sie geht also der Tageslänge parallel.. Die Tagessummen sind im Juni rund doppelt so hoch wie im September/Okttober (s. Tab. 57, S. 241). Die einzelnen Tageswerte (vgl. Tab. 56) stehen im Juni meist über 400 Einheiten und erreichen im Maximum 640—845. Andererseits fällt die Lichtsumme an trüben Tagen bis auf 100 Einheiten und weniger. Auch wenn die Photometermethode fehlerlos arbeiten würde, müßte, entsprechend den stets wechselnden Wetterkonstellationen, ein außerordentlich vielgestaltiges Bild der Strahlungswirkung entstehen, das durch die lokalen Unterschiede der verschiedenen, geprüften Stationen noch in hohem Maße kompliziert wird.

Stündliche Lichtsummen. Im Juli, August und Oktober 1932 maßen wir auf dem flachen Boden des Anzuchtgartens neben dem Alpengartenhaus die Lichtwirkung in der Sonne und im Schlagschatten während einer bestimmten Zahl von Stunden. Die Photometer wurden horizontal hingelegt und der Schlagschatten durch ein Tuch in der Größe von 100×200 cm erzeugt, das 170 cm über dem Boden horizontal ausgespannt wurde. Parallel dazu erfolgten Messungen des Lichtes im Schatten des Hauses. Die Ergebnisse sind in Tabelle 52 zusammengestellt.

An den beiden Beobachtungstagen im Juli trat Bewölkung auf, so daß die Sonne zeitweise verdeckt war. Die auf die Stunde berechneten Lichtsummen sind denn auch kleiner als im August und Oktober, wo andauernde Bestrahlung stattfand. Interessant ist, daß der Höchstwert im Oktober eintritt, wo die Erde der Sonne stärker genähert ist und die Luft besonders klar war. Am 18. August sowie am 14. Oktober gelangten an der Sonne nebeneinander zwei Instrumente zur Aufstellung, deren Abweichung nur wenige Prozent ausmacht, was für die Brauchbarkeit der Methode spricht. Im Schlagschatten betrug die Lichtstärke zwei Drittel bis ein Drittel des Lichtes in der vollen Sonne, im Haus-

TABELLE 52

Stündliche Lichtsummen der Photometermessungen im Alpengarten.

Tag	Stunde	Gesamte Expos. in Std.	Sonnen-schein in Std.	Relative Lichtsumme pro Std. im Mittel Instrument horizontal			
				Sonne	Schlag-schatten	Haus-schatten	
1932				1. Instr.	2. Instr.		
16.7.	7.00—12.30	5.5	4	30.0		20.9	
20.7.	5.00—15.00	10	6	27.5		8.9	
18.8.	6.30—10.30	4	4	30	31.2	15.7	7.2
	10.30—14.30	4	4	56.2	60.0	18.2	11.0
1.10.	10.30—14.30	4	0	24	25		
4.10.	11.30—16.30	5	(Nebel)	11	10.2		7.6
7.10.	7.15—10.15	3	3	32		12	5.7
	10.15—14.15	4	4	73.7		41.2	18.2

schatten ein Viertel bis ein Sechstel. Der Lichtstärkeanstieg von den Vormittagsstunden zu den Mittagsstunden geht an den beiden Beobachtungstagen an der Sonne ungefähr auf das Doppelte, während sich die Schattenwerte ungleich verhalten, indem am 18. VIII. die Zunahme des diffusen Lichtes bedeutend kleiner ist als am 7. X. Wir kommen auf diese Frage bei der Besprechung der Lichtmessungen mit dem Luxmeter zurück. Ganz bedeutend geringer ist die Lichtmenge, die auf eine gegen den Boden gerichtete Fläche trifft. Am 20. VII. von 5—15 Uhr zeigte ein in 170 cm über dem Boden gegen die besonnte Erde gerichtetes Photometer nur 2,4 Lichteinheiten im Mittel pro Stunde, also nur ein Elftel des Gesamtlichtes und ein Viertel des Lichtes im Schlagschatten.

Bei bedecktem Himmel gaben am 1. Oktober 1932 zwei ebenfalls vor dem Alpengartenhaus aufgestellte Photometer von 10.30 bis 14.30 Uhr im Mittel pro Stunde 24, resp. 25 Lichteinheiten. Niedriger werden die Werte bei Nebel: am 4. Oktober 1932 von 11.30—16.30 Uhr im Mittel pro Stunde 10,2, resp. 11 Lichteinheiten, im Hausschatten 7,6. An einem Nebel-Regentag ohne jeden Sonnenschein (26. VIII. 1932) ergab das frei exponierte Photometer für den ganzen Tag insgesamt 165 Lichteinheiten, das

auf der Schattenseite des Hauses aufgestellte Instrument, bei dem der Lichteinfall auf der einen Seite beschränkt war, nur 63. Bei bedecktem Wetter wird naturgemäß die Lichtstärke in sehr wechselndem Maße kleiner.

Photometer-Lichtmessungen rund um das Gipfeld, August 1936. Die Ergebnisse sind in Tabelle 53 zu-

TABELLE 53

Graukeilphotometermessungen in verschiedenen Expositionen rund um die zentrale Erhebung im Alpengarten (Kuppe). Werte in relativen Lichtsummen

Datum	Exposition waagrecht							
	E	SE	S	SW	W	NE	N	Kuppe flach
1936								
13. VIII.	110	120	78	96	(68)	110	101	125
14. VIII.	210	195	180	195	(135)	155	187	240
15. VIII.	180	195	180	195	(120)	190	145	240
Total	500	510	438	486	(323)	455	433	605
	Exposition waagrecht und schief (45°)							
	Ost		Süd		West		Nord	
	waagr.	schief	waagr.	schief	waagr.	schief	waagr.	schief
16. VIII.	165	232	(120)	240	130	120	101	80
17. VIII.	155	195	(135)	260	172	155	115	91
18. VIII.	165	217	(135)	290	172	150	115	91
19. VIII.	195	275	(155)	290	195	180	155	135
Total	680	919	(545)	1080	669	605	486	397

Die eingeklammerten Werte W vom 13./15. und S waagr. vom 16./19. stammen vom Photometer Nr. 3 und sind wahrscheinlich zu niedrig (vgl. S. 227).

Bemerkungen zur Wetterlage:

13. VIII. 1936: ganzer Tag leicht bedeckt. Schwache Sonne vorübergehend um 9 Uhr. Gegen Abend Nebel.
 14. VIII. 1936: bewölkt, mit gleichmäßigem, leichtem Sonnenschein; nur über Mittag Sonne, durch aufsteigenden Nebel etwas verdeckt. Gegen Abend klar.
 15. VIII. 1936: Ganzer Tag hell.
 16. VIII. 1936: Sonne bis gegen 14 Uhr; um 16.30 Uhr Gewitter; später wieder aufhellend.
 17. VIII. 1936: Vormittag hell, nach Mittag, besonders von 14.30—16.30 Uhr, mehr oder weniger bedeckt. Dann wieder heller.
 18. VIII. 1936: bewölkt, doch beinahe immer Sonne.
 19. VIII. 1936: Morgen hell, doch bald bewölkt und dann bis abends bedeckt.

sammengestellt. Die Lichtschwankungen im Laufe eines Tages und der Einfluß des Geländes machen sich sehr bemerkbar.

Während drei Tagen waren die Instrumente in horizontaler Lage in 8 Himmelsrichtungen regelmäßig am Hang rund um das Gipfelfeld verteilt. Ein Photometer lag flach auf dem höchsten Punkt. Am ersten, sonnenlosen Tage blieben die Werte der Süd- und Westlage in auffallender Weise zurück, sogar hinter der Nord- und Nordostlage. An den beiden folgenden Tagen, bei hellem Wetter, ergaben SW-, S-, SE- und E-Lage annähernd die gleichen Werte, am einen Tag auch Nord, am andern Nordost, während West immer den kleinsten Lichteinfall aufwies, was vielleicht einem Fehler des Instrumentes zuzuschreiben ist. Die durchwegs höchste Lichtsumme zeigte das flach auf die Kuppe gelegte, also gänzlich frei exponierte, während des ganzen Tages der Sonnenstrahlung zugängliche Photometer. Auffallend ist der hohe Wert der in Nord- und Nordostexposition aufgestellten Instrumente.

In den vier letzten Tagen wurden nur noch vier Himmelsrichtungen beurteilt, dafür aber in horizontaler und um 45° geneigter Lage, indem jeweils ein horizontales und ein geneigtes Instrument nebeneinander aufgestellt wurden (vgl. auch Abb. 52). Nordlage gibt ausgesprochen die kleinste Helligkeit, wobei das schief gerichtete Instrument deutlich, aber nicht sehr viel hinter dem waagrecht gestellten zurückbleibt. Die Westlage verhält sich

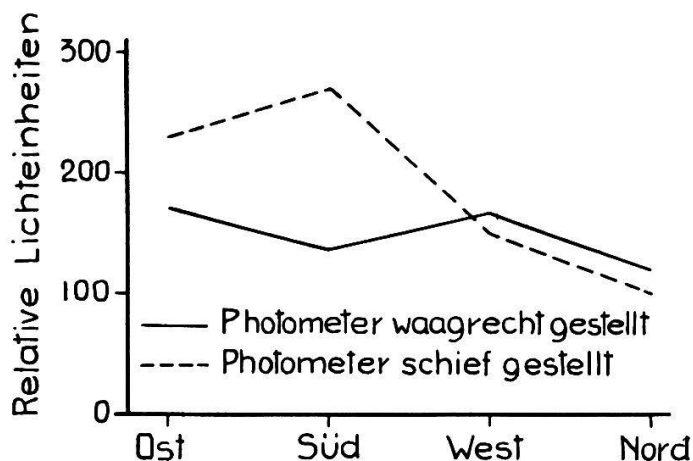


Abb. 52. Mittlere tägliche Lichtsummen in den verschiedenen Expositionen um die zentrale Kuppe des Alpengartens bei waagrechter und schiefer Lage der Photometer, am 16./19. VIII. 1936.

gleich bei etwas höheren Werten. In Süd- und Ostlage dagegen zeigen die schief gestellten Apparate höhere Lichtsummen an als die waagrechten, in Südlage rund das Doppelte mehr. In Südexposition sind die Lichtsummen des waagrecht gestellten Photometers niedriger als in Ostexposition, die des schief gestellten dagegen höher, was auffallend ist, da die Sonne doch im Süden den höchsten Stand erreicht. Da für die Südexposition waagrecht das gleiche Photometer verwendet wurde wie an den drei ersten Tagen in Westexposition, wird die Vermutung bestärkt, dieses Instrument habe zu niedrig gezeigt. Sicher bleibt, daß im Jahre 1936 um Mitte August neben der Südseite unserer Kuppe besonders die Ostseite viel Licht empfing, während der Westen beträchtlich abfiel. An sonnenlosen Tagen blieb die Nordseite kaum zurück. Der kleinere Lichtgenuß der Westseite gegenüber der Ostseite kann eine Folge der im allgemeinen stärkeren Nachmittagsbewölkung sein, und von Bedeutung ist wohl auch eine Hemmung der diffusen Strahlung durch den der Westseite der Kuppe in geringer Entfernung vorgelagerten Berggrat der Geiß. Auch die je nach dem Standorte verschieden starke Einsenkung des Photometers am Hang beeinflußt als lokaler Faktor den Lichtgenuß der einzelnen Photometer in ungleicher Weise.

Kurzfristige photometrische Lichtmessungen in den einzelnen Pflanzengesellschaften. Am 7. Oktober 1932, einem besonders strahlenden Tag, wurden in den beiden Pflanzengesellschaften des Alpengartens, die in bezug auf die Besonnung die Extreme repräsentieren (vgl. S. 225), durch je ein horizontal und ein waagrecht aufgestelltes Photometer eine vierstündige Lichtmessung in den Vormittags- und in den Mittagsstunden ausgeführt. Sie zeigt in den einstündigen Mittelwerten (s. Tab. 54) für das obere Seslerietum eine außerordentlich hohe Lichtstrahlung an, die sich von den Vormittagsstunden gegen Mittag hin noch sehr steigert, bis zu 120 Lichtwerten in der Stunde. Um Mittag wird der Lichtwert des horizontalen Photometers deutlich höher als der des mit 45° schief gestellten Instrumentes.

Im vorderen Empetretum zeigt sich vom Vormittag zum Mittag kaum eine Steigerung der Lichtwirkung, und der Wert des schief

TABELLE 54

Stündliche Lichtsummen in 2 extrem verschiedenen Pflanzengesellschaften bei voller Sonnenwirkung.

Tag	Stunde	Relative Lichtsumme pro Stunde im Mittel			
		Oberes Seslerietum		Vorderes Empetretum	
		horizontal	45° schief	horizontal	45° schief
7. X. 1932	7.15—10.15	48.3	57.3	19	41.7
	10.15—14.15	120.0	105.0	21.2	41.2

gestellten und dadurch frei gegen den Himmel gerichteten Instrumentes ist beide Male rund doppelt so hoch wie der des andern. Das Empetretum ist in dieser Jahreszeit nur in den Vormittagsstunden im Sonnenlicht und rückt bereits um Mittag in den Schatten. Naturgemäß ist auch die Lichtsumme im Empetretum ganz bedeutend kleiner als im Seslerietum; sie beträgt für das horizontal gestellte Photometer im Vormittag 40 % und um Mittag nur 18 %. Solche extreme Werte sind aber selten, wie andere Messungen gezeigt haben.

Vergleichende Lichtmessungen in den einzelnen Pflanzengesellschaften zwischen horizontal und schief in der Hangrichtung aufgestellten Photometern wurden wiederholt ausgeführt, und die Ergebnisse sind in der Tabelle 55 zusammengestellt. Die Höhe der Lichtsummen spiegelt die Wetterlage, und wir sehen, wie im Juni 1932 die Tageslichtsumme zwischen 155—685 relativen Lichteinheiten schwankt, am 20. August 1936 die Lichtsumme in einer Station unter 100 Lichteinheiten bleibt, in den andern den Wert 100 gerade erreicht oder wenig übersteigt. Auffallend ist der niedrige Wert des untern Seslerietums gegenüber dem obern Seslerietum, den wir auch später wieder finden werden. Die Mittelwerte der Messungen im Sommer 1932 haben wir in der Abbildung 53 bildlich dargestellt. Den höchsten Lichtgenuß empfing das obere Seslerietum, besonders in SW-Lage. Im Nardetum, Festucetum und Empetretum war er merklich geringer. Die Unterschiede zwischen dem horizontalen und dem schief gestellten Photometer sind, wie auch bei den Untersuchungen auf der zentralen Kuppe, keineswegs einheitlich. Im vorderen Empetretum sind sie mit Ausnahme der Julimessung stets unbedeutend, in

TABELLE 55

Graukeilphotometer-Messungen in verschiedenen Pflanzengesellschaften. — Instrumente in horizontaler und in der Hangrichtung geneigter Lage (1932 = Neigung 45°; 1936 und 1940 = Neigung parallel dem Hang).

Datum	Unteres Seslerietum		Oberes Seslerietum SE		Oberes Seslerietum SW		Vorderes Nardetum SE		Vordere Frischwiese E		Vorderes Empetretum NNE	
	horiz.	schief	horiz.	schief	horiz.	schief	horiz.	schief	horiz.	schief	horiz.	schief
<i>1932</i>												
14. VII.			165	155	195	172			195	155	180	188
15. VII.			155	195	240	172			165	225	165	165
18. VII.			165	225	315	210	275	225			195	203
24. VII.			155	165	295	195	240	195			165	165
25. VII.			365	365	480	390			365	255	352	305
17. VIII.			420	390	390	685			255	365	352	340
19. VIII.			420	420	450	640			275	315	327	340
Mittel			264	273	338	352			253*	243*	248	244
<i>1936</i>												
20. VIII.	59	66	110	125							100	100
<i>1940</i>												
16. VIII.	172	180	232	255								
17. VIII.	142	128	232	255								
18. VIII.	235	302	408	373								

* Mittel einschließlich der Werte vom 18. und 24. VII. aus dem vorderen Nardetum.

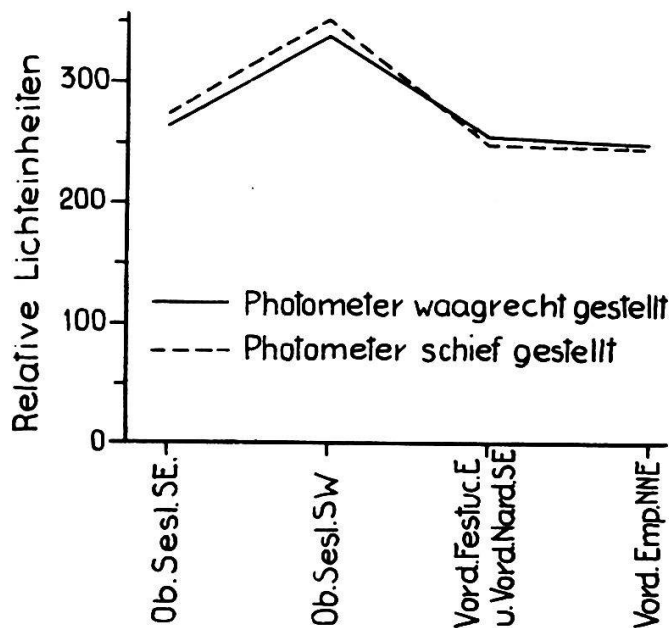


Abb. 53. Mittlere tägliche Lichtsummen in verschiedenen Pflanzengesellschaften bei waagrechter und schiefer Stellung der Photometer, VII./VIII. 1932.

den übrigen Gesellschaften im allgemeinen klein bei schwacher Strahlung, größer bei starkem Lichte. Und zwar ist bei hohem Sonnenstande, am 25. Juli, die Strahlung im oberen Seslerietum SW, auf der vorderen Frischwiese E und im vorderen Empetretum NNE bei horizontaler Lagerung des Instrumentes bedeutend größer, im oberen Seslerietum SE gleich groß wie bei schiefer Lage. Bei niedrigerem Sonnenstande, im August, verhalten sich das obere Seslerietum SW und die vordere Frischwiese entgegengesetzt dem Juli, während in den übrigen Gesellschaften im allgemeinen nur kleine Unterschiede auftreten. Im gesamten Mittel des Jahres 1932 ist der Lichtgenuß des schiefgestellten Photometers im oberen Seslerietum etwas größer, in den übrigen Gesellschaften etwas kleiner als der des waagrecht gestellten Instrumentes.

Ganztägige Lichtmessungen in den einzelnen Pflanzengesellschaften mit horizontaler Stellung der Photometer. In der Tabelle 56 bringen wir eine Zusammenstellung der in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens bei waagrechter Stellung der Instrumente vorgenommenen ganztägigen Lichtmessungen. Im oberen Seslerietum, das sich von Osten über Süden nach Westen um einen steilen Hügel herum erstreckt, wurden zwei bis drei Stationen mit verschiedenen Expositionen untersucht.

Wenn wir die Tabelle 56 vergleichend überblicken, so finden wir eine außerordentliche Vielgestaltigkeit sowohl in den Lichtwerten einer bestimmten Station als auch in dem gegenseitigen Verhältnis der verschiedenen Stationen. Diese Variabilität ist in erster Linie als Ausdruck der Vielgestaltigkeit der Wetterlage zu betrachten. Namentlich sind längere Sonnenblicke von großem Einfluß, da sie den Wert derjenigen Stationen erhöhen, die im selben Zeitpunkte von der Sonne am stärksten bestrahlt werden. Dann wurde aber auch der Standort des Photometers innerhalb eines engen Bezirkes von einigen Quadratmetern oft etwas gewechselt, was zu wesentlichen Veränderungen im Lichtgenuß führen kann.

Wiederholt gelangten in der gleichen Lokalität zwei benachbarte Photometer zur Aufstellung, um lokale Schwankungen im

TABELLE 56

Lichtsummenmessungen mit dem Graukeilphotometer in verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens (Photometer horizontal).

Datum	Unteres Seslerietum	Oberes Seslerietum SE	Oberes Seslerietum S	Oberes Seslerietum SW	Windecke	Vorderes Nardetum	Vordere Frischwiese E	Hint. Nardet. und hintere Frischwiese	Vorderes Empetretum	Hinteres Empetretum	Caricetum ferrugin.
1932											
VI. 9.	390	390		555	365	420	480		390	365	
10.	515	685		845	497	640	555		450	435	
11.	450	480		640	365	480	555		390	435	
12.	450	480		640	435	480	480		390	435	
13.	515	480		640	435	480	480		390	435	
14.	515	480		735	497	555	555		390	435	
15.	450	390		555	497	420	480		535	435	
VII. 7.	225	172		240	240	240	210		195	232	
8.	155	145		180	155	155	165		165	150	
9.	83	120		120	155	120	155		150	150	
14.		165		195			195		180		
15.		155		240			165		165		
18.		165		315		275			195		
24.		155		295		240			165		
25.		365		480			365		352		
VIII. 17.		420		390			255		352		
19.		420		450			275		327		
X. 3.	165	155		240	140	210	225		165	123	
5.	240	172		365	255	240	240		165	145	
6.	210	195		295	217	240	155		165	120	
1934											
VI. 9.		217		155	120		155		55		
10.		217		155	195		172		202		
11.		217		155	165		145		187		
12.		93		86	73		89		78		
1936											
VIII. 20.	59	110			122				100		
1938											
VIII. 20.	126	76		70	(75)		137	131	110	90	
	156				240				172		
IX. 28.	183	117		151	(123)	201	200	131	88	83	93
					289						
29.	118	85		70	(69)	129	127	87	81	59	78
					133						
1940											
VIII. 16.	172	232			196						
17.	142	232			289						
18.	235	408			350						

Datum	Unteres Seslerietum	Oberes Seslerietum SE	Oberes Seslerietum S	Oberes Seslerietum SW	Windecke	Vorderes Nardetum	Vordere Frischwiese E	Hint. Nardet. und Hintere Frischwiese	Vorderes Empetretum	Hinteres Empetretum	Caricetum ferrugin.
<i>1942</i>											
VI. 19.	225	340		480	400				330	315	
	265	390		450					295	365	
23.	240	340		535	480				330	420	
	247	595		405					390	450	
24.	187	202		435	365				330	275	
	122	340		405					245	285	
VIII. 11.	160	217		315	405			365	240	165	
	187	295							245	255	
18.	160	202		255	275			275	218	155	
	140	295							202	240	
24.	225	315		435	450			435	275	275	
	285	420							327	285	
X. 1.	275	340		435	495			340	180	145	
	187	340							265	217	
2.	150	202		255	340			340	155	120	
	160	390							65	135	
3.	240	165		195	255			215	90	75	
	140	365							105	100	
<i>1943</i>											
VIII. 11.	160	285	265	450	327	180			240	180	
	130								180		
12.	120	145	195	195	210	155			150	140	
	93								93	135	
13.	160	195	265	275	255	165			240	180	
	115								105	240	

Lichtgenuß zu erfassen. Solche Doppelmessungen zeigen innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft und in enger räumlicher Nachbarschaft ganz bedeutende Unterschiede in der Lichtstärke, als Folge kleiner Unterschiede in der Exposition, kleiner Bodenwellen, Verwölbungen und Vertiefungen des Terrains, verschiedener Lage auf den Absätzen der gestuften Hänge. Im Empetretum und Seslerietum, die durch einen stufigen Aufbau gekennzeichnet sind, wurden wiederholt einzelne Photometer nahe dem Außenrande der flachen Absätze und dann wieder nahe dem Innenrande aufgestellt, um die extremen Lichtwerte zu bekommen. So erklären sich die starken Unterschiede bei Parallelmessungen in diesen Gesellschaften, die um mehr als das Doppelte auseinandergehen können. Würden wir die Photometer auch noch

schief hingelegt und allen Unebenheiten des Geländes angepaßt haben, so würden die Unterschiede noch größer ausgefallen sein. Hier sei noch auf die Messungen vom Sommer 1938 in der Station Windecke hingewiesen, wo wir neben dem genau horizontalen Photometer ein anderes auf den ganz flach gegen Norden abfallenden Grat legten. Trotz der schwachen Neigung sanken die Lichtwerte sehr stark ab (in Tab. 56 eingeklammert).

Die absolut höchsten Lichtwerte erhielten wir im Monat Juni; die maximale Tageslänge erklärt diese Tatsache ohne weiteres. Niedrige Werte dagegen ergeben sich in jedem Monat bei trübem Wetter. Ihre untere Grenze scheint während der Vegetationsperiode bei etwa 60 Lichteinheiten zu liegen, und zwar wurden diese niedrigsten Werte nicht nur im Herbst gemessen, sondern auch zur Zeit des hohen Sonnenstandes. Maßen wir doch den absoluten Minimalwert von 55 Lichteinheiten am 9. Juni 1934 im vorderen Empetretum. Das ist nur ein Zehntel des höchsten, in dieser Gesellschaft beobachteten Lichtwertes von 535 Einheiten und ein Fünfzehntel des höchsten im Juni beobachteten Wertes (845 Einheiten).

Zum Vergleiche der einzelnen Stationen miteinander ist es wünschbar, die Tagesmittel aus den Gesamtsummen der Lichtwerte und den Summen für die einzelnen Beobachtungsmonate zu bilden. Leider steht dem die Schwierigkeit gegenüber, daß die Beobachtungstage für die einzelnen Stationen nur teilweise übereinstimmen und auch nach der Zahl sehr verschieden sind. Immerhin wurden mehrere Stationen beinahe regelmäßig benützt, und Unterschiede in den Beobachtungszeiten können durch die große Zahl der Beobachtungstage teilweise ausgeglichen werden. Wir haben infolgedessen die Mittelwerte trotz der Bedenken zusammengestellt (Tab. 57), dürfen sie aber nur in den Hauptzügen auswerten.

Verhältnismäßig gut lassen sich die Messungen des Jahres 1942 vergleichen, die sich im Juni, August und Oktober auf je drei vorwiegend helle Tage beziehen. Sie ergeben folgende mittlere Tageswerte:

TABELLE 57

Mittlere tägliche Lichtsummen, gemessen mit dem Graukeilphotometer, für die Gesamtzahl der Beobachtungstage und für die einzelnen Monate. T = Zahl der Tage; L = Lichtsumme in relativen Lichteinheiten.

	Unteres Seslerietum		Oberes Seslerietum SE		Oberes Seslerietum SW		Windecke		Vorderes Nardetum		Vordere Frischwiese E		Hint. Nardetum u. Hint. Frischwiese		Vorderes Empetretum		Hinteres Empetretum	
	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L	T	L
Juni	18	352	17	373	17	464	14	349	7	496	11	377	—	17	316	13	391	
Juli	3	154	8	180	8	258	3	183	5	206	6	209	—	8	196	3	177	
August	18	157	16	267	9	315	11	284	3	167	3	222	4	302	17	210	12	195
September/Okttober	11	188	11	230	8	251	8	266	5	204	5	189	5	223	11	138	11	120
Juni/Okttober	45	220	52	280	42	352	36	297	20	301	25	281	9	258	53	227	39	238

	Seslerietum 6 Instr.	Windecke 1 Instr.	Empetretum 4 Instr.
19.—24. VI.	345	415	336
11.—24. VIII.	260	377	240
1.— 3. X.	256	363	138

Die Windecke steht immer am höchsten, mit kleinem Abfall gegen Hochsommer und Herbst, das Empetretum am tiefsten, mit ausgesprochenem Abfall im Herbst. Das Seslerietum hält die Mitte, und der Abfall vom Hochsommer zum Herbst ist kaum merklich.

Die Mittelwerte der Lichtsummen für die einzelnen Stationen gehen gut aus der Abbildung 54 hervor. Sie lassen sich in drei Gruppen ordnen:

1. höchste Werte: oberes Seslerietum Südwest.
2. mittlere Werte: Windecke, oberes Seslerietum Südost, vorderes Festucetum, vorderes Nardetum (Mittelwert zu hoch, weil einzelne Perioden mit niedrigen Lichtsummen fehlen), hinteres Nardetum und hinteres Festucetum (Mittelwert zu niedrig, weil der Juni 1932 fehlt).
3. niedrige Werte: unteres Seslerietum, vorderes und hinteres Empetretum.

Die Südwestseite des oberen Seslerietums ist also ausgesprochenermaßen der hellste Teil des Alpengartens; die Mittags- und

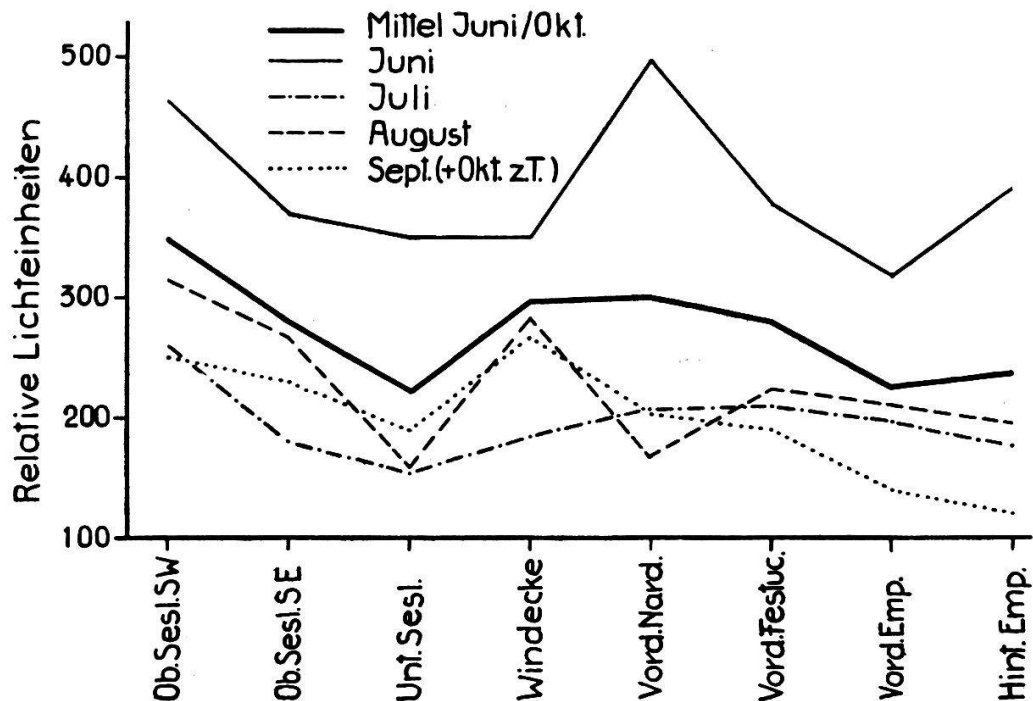


Abb. 54. Mittlere tägliche Lichtsummen der Photometer in verschiedenen Pflanzengesellschaften für die einzelnen Sommermonate und für den ganzen Sommer. Mittelwerte aller Messungen.

Frühnachmittagsstrahlung erweist sich trotz der verhältnismäßig häufigen und starken Bewölkung dieser Tagesstunden als am stärksten. Die Südostseite bleibt bereits wesentlich hinter der Südwestseite zurück. In der direkten Südlage wurden leider nur wenige Messungen gemacht, die zudem auf eine Zeit mit mittlerer Strahlung fallen. Sie lassen aber vermuten, daß die Südwerte im oberen Seslerietum sich zwischen denen der Südwest- und der Südostlage halten. Sehr auffallend sind die niedrigen Werte des unteren Seslerietums, die aber nach der verhältnismäßig kurzen Besonnungszeit zu erwarten waren (s. S. 225). Die Beobachtungsstation und ihre unmittelbare Umgebung ist ja gegen Südwesten und Westen abgeschirmt und erhält nur wenig nachmittägliche Sonnenstrahlung. Es ergeben sich somit innerhalb der Seslerietum-Bestände sehr große Unterschiede im Lichtgenuß. An Tagen mit geringer Lichtstrahlung dagegen, namentlich im Herbst, gehen die Werte des unteren Seslerietums weniger zurück als die des oberen Seslerietums und können diese sogar übergipfeln. Die Windecke, trotzdem sie die einzige Station ist, die von der Sonne vom Aufgang bis zum Untergang beschienen wird, steht im Mittel erst an zweiter Stelle und bleibt so weit hinter der SW-Seite des oberen Seslerietums zurück, daß ein Fehler ausgeschlossen erscheint. Die Ursache für die hohen Lichtwerte der am steilen Sonnenhang in horizontaler Richtung aufgestellten Photometer (oberes Seslerietum) ist wohl in der Rückstrahlung vom Hang her zu erblicken. Dabei mag auch die starke Erwärmung von Einfluß sein. Hecht und Möriker (1939, S. 145) haben den Einfluß der Temperatur auf die Schnelligkeit und Stärke der Lichtreaktion untersucht und sind zum Schluß gekommen, daß eine Temperaturerhöhung um 10° die relative Lichtsumme des Graukeilphotometers um etwa 5% ansteigen lasse. Nun sind gerade die Bodenoberflächen im oberen Seslerietum einer sehr intensiven Erwärmung ausgesetzt (vgl. Tab. 67 u. S. 290). Der Lichtgenuß des Empetretums ist unerwartet hoch, besonders beim Vergleich mit dem des unteren Seslerietums. Die Aufstellung nach Monaten zeigt, daß dies von den hohen Empetretum-Werten des Juni herrührt. Vom Caricetum ferrugineae liegen nur zwei Herbstwerte von Tagen mit mittlerer Helligkeit vor. Sie sind niedrig, denen des Empetretums benachbart. An dieser in der Schatten-

wirkung der großen Felswand gelegenen Lokalität mit schwacher Besonnung ist kein großer Lichtgenuß zu erwarten.

Die Zusammenstellung des Lichtgenusses nach Monaten (Abbildung 54) bestätigt im wesentlichen die Reihenfolge, die wir für die ganze Vegetationsperiode gefunden haben. Weitaus am höchsten sind die Juniwerte, so daß alle andern Monate für alle Stationen unter dem Mittel der vier Sommermonate stehen. Die Abnahme des Lichtgenusses vom Juni zum September/Okttober ist sehr unregelmäßig und unausgeglichen infolge der zu geringen Zahl der Beobachtungstage. Namentlich erscheinen die Juliwerte zu niedrig. Immerhin zeigt sich, daß diese Abnahme in den verschiedenen Stationen ungleichmäßig erfolgt, weitaus am stärksten im Empetretum, verhältnismäßig schwach in der Windecke, so daß die Windeckenstation im September/Okttober etwas höher steht als die Südwestseite des oberen Seslerietums. Das kann vielleicht nur Zufall sein, als Folge der zu geringen Zahl der Beobachtungstage. Im Empetretum ist in den Zeiten der langen Tage die morgendliche Strahlung stark; gegen den Herbst hin fällt aber der Lichtgenuß weit unter den des unteren Seslerietums und erreicht im hinteren Empetretum nur noch die Hälfte der Werte des oberen Seslerietums.

Vereinigen wir schließlich alle Messungen der gleichen Pflanzengesellschaft oder der einander nahestehenden Gesellschaften zu großen Gruppen, so erhalten wir folgende mittlere Tageswerte:

	Zahl der Beob. Tage	mittlere Lichtsumme
Windecke (Dryadetum)	36	297
Frischwiesen und Nardetum	54	284
Seslerietum	142	281
Empetretum	92	229

Windecke und Frischwiesen (einschließlich die Nardeten) sind also hier an die Spitze, vor das Seslerietum gerückt, dessen Werte durch das untere Seslerietum stark gedrückt erscheinen. Doch ist die Zahl der Messungen bei Windecke und Frischwiese relativ klein, und die Lokalitäten, an denen die Messungen vorgenommen wurden, sind nicht für den ganzen Lebensraum des Crepideto-Festucetum rubrae commutatae repräsentativ, sondern umfassen zur Hauptsache der Sonne zugeneigte Hänge. Bei der Berücksichtigung von Frischwiesen schattigerer Lagen würden die mitt-

leren Lichtwerte beträchtlich tiefer ausfallen. Dagegen dürften die Werte und das gegenseitige Verhältnis von Seslerietum und Empetretum für den Lichtgenuß dieser Gesellschaften in dem Schinigeplatte-Gebiet im wesentlichen charakteristisch sein.

Lichtmessungen mit dem Luxmeter

Das benutzte Instrument wurde von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft in Berlin geliefert und enthält als lichtempfindliches Organ eine Sperrschichtzelle (Selenzelle) nach Dr. B. L a n g e. Diese Zelle ist durch ein zirka 1 m langes Kabel mit dem Galvanometer verbunden, so daß sie leicht überall hin und in jede beliebige Stellung zur Sonne gebracht werden kann. Während die eine Hand die Sperrschichtzelle an den gewünschten Ort bringt, hält die andere Hand das an einem Band um den Hals gehängte Galvanometer, und das Auge kann den Lichtwert in deutschen Lux direkt ablesen. Eine doppelte Schaltung ergibt eine Ablesung von 1—1000 Lux. Durch Vorschalten eines Platinopalglasfilters wird die Lichtstärke 100mal reduziert, so daß wir bis 100 000 Lux ablesen können. Da im Lichtklima der Alpen noch wesentlich höhere Lichtwerte auftreten, so fertigte uns Herr Dr. W. M ö r i k o f e r, Direktor des Physikalisch-Meteorologischen Observatoriums in Davos ein Grauglas an, das, hinter den Platinopalglasfilter gebracht, eine weitere, 3,28- ($\pm 0,041$) fache Lichtschwächung ergab. Wir sind ihm für dieses freundliche Entgegenkommen sowie für die Prüfung des Instrumentes auf seine Zuverlässigkeit, die ganz positiv ausfiel, sehr zu Dank verpflichtet.

Die Selen-sperrschichtzelle hat eine Strahlungsempfindlichkeit, die von etwa 250—900 μ reicht, mit einem Maximum von 500—600 μ . Sie entspricht also im wesentlichen der Lichtempfindlichkeit des menschlichen Auges. Die Unsicherheit der mit ihr ausgeführten Messungen wird je nach dem Meßbereich auf etwa 3—8 % angegeben. Die Zuverlässigkeit ist also ungleich größer als bei dem Graukeilphotometer; aber das Instrument vermittelt uns nur Augenblickswerte der Lichtstärke. Eine kurz gefaßte Darstellung des Instrumentes und seiner Wirkungsweise gibt uns W. M ö r i k o f e r (1940).

In jeder Station wurde die gesamte Lichtstrahlung bestimmt, indem die Sperrzelle senkrecht zur Sonne gerichtet und durch kleine Verschiebungen der höchste erreichbare Wert festgestellt wurde. Um Anhaltspunkte über das Verhältnis von gesamter und diffuser Lichtstrahlung zu erhalten, bestimmten wir daraufhin die Lichtstärke im Körperschatten, indem wir mit ausgestrecktem Arm die Sperrzelle in waagrechter Lage so hoch hielten, daß der Schatten des Kopfes gerade noch auf sie fiel. Das waren je nach dem Sonnenstande rund 100—150 cm über dem Boden. Dann wurde die Sperrzelle auf die Bodenoberfläche parallel der Neigung des Hanges gelegt und im freien Licht, also meist in der Sonne, an mindestens 5 Stellen die Lichtstärke gemessen (Einstrahlung = H a n g l i c h t). Bei treppenartig gestuften Hängen (Seslerietum, Empetretum) erfolgte gewöhnlich die Messung für die steilen Teile (Stufen) und die flachen Teile (Absätze) gesondert. Schließlich maßen wir die Lichtstärke auch mit der in etwa 60 cm Entfernung gegen den Boden hingewendeten Sperrzelle. Wir erhielten so neben einem kleinen Teil des diffusen Lichtes vor allem die Rückstrahlung vom Boden her und damit ein Maß für die Helligkeit der Bodenoberfläche (vgl. S. 267). Eine etwas kleinere oder größere Annäherung an den Boden veränderte die Lichtstärke nur wenig. Die so gemessene Strahlung wollen wir B o d e n l i c h t nennen. Je nach der Örtlichkeit wurde wiederum zwischen Stufen und Absätzen sowie zwischen Rasen, nacktem Humusboden und Felsschutt oder Felsboden unterschieden, jeweilen mit mindestens 5 Messungen. Durch die wiederholten Messungen, die wir im Umkreis von einigen

Metern innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft ausführten, suchten wir der Vielgestaltigkeit der Kleinstandorte gerecht zu werden und die Mittelwerte des Lichtgenusses sowie die Extremwerte, wie sie nebeneinander auftreten, zu erfassen.

Die Messungen führten wir in der Nähe unserer gewöhnlichen, lokal-klimatischen Beobachtungsstationen aus, und zwar immer in nachstehender Reihenfolge:

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Unteres Seslerietum | 5. Hinteres Nardetum |
| 2. Vorderes Nardetum | 6. Vorderes Empetretum |
| 3. Oberes Seslerietum | 7. Hinteres Empetretum |
| 4. Windecke | |

Über die Exposition und Steilheit der Hänge s. S. 62, 221. Ein Messungsgang dauerte ca. 40 Minuten. Veränderungen in der Lichtstärke während dieser Zeit können aus dem bei jeder Station neu gemessenen Gesamtlicht entnommen werden. Da wir die maximalen Unterschiede im Lichtgenuß der verschiedenen Stationen feststellen wollten, so wählten wir Tage mit möglichst klarem Himmel, die wir so verteilen konnten, daß der Beginn, die Zeit kurz nach dem Höhepunkt, und das Ende der Vegetationsperiode berücksichtigt wurden, was zugleich dem Absinken der Sonnenhöhe vom höchsten Stand bis nach der Herbst-Tag- und Nachtgleiche entspricht (Juni, August, Anfang Oktober).

Die Ergebnisse dieser Lichtmessungen sind in den Tabellen 58—61 zusammengestellt. Die maximale Lichtstrahlung und das Licht im Körperschatten geben naturgemäß nur je einen Wert. Für die Lichteinstrahlung auf den Hang und die Lichtrückstrahlung vom Boden geben wir den Mittelwert der Messungen und eingeklammert die höchsten und niedrigsten gemessenen Werte. In einzelnen Fällen sind auch nur eine oder zwei Messungen vorhanden. Das ist daran zu erkennen, daß die eingeklammerten Extreme fehlen.

Betrachten wir zunächst den 18. August 1939 (Tab. 58). Die Messung im späten Vormittag wurde bei völlig klarem Himmel ausgeführt. Die gesamte Lichtstrahlung steigt während der Messung etwas an und erreicht in der Windecke den höchsten Wert. Die Steigerung der Lichtstärke ist zum Teil in der Zunahme der Sonnenhöhe gegen den Mittag hin begründet. Doch erscheint das untere Seslerietum etwas benachteiligt, und im Empetretum erfolgt ein deutlicher Rückgang. Im Körperschatten beträgt das Licht etwa ein Zehntel bis ein Zwölftel des Gesamtlichtes, wobei wiederum das untere Seslerietum und das Empetretum etwas zurückbleiben, daneben auch die Windecke. Die kleineren Werte im unteren Seslerietum und im Empetretum dürften darauf zurückzuführen sein, daß an diesen Steilhängen das Seitenlicht abgeschwächt ist.

TABELLE 58

Lichtmessungen im Alpengarten am 18. VIII. 1939 mit dem Luxmeter. Werte in 1000 Lux.

Zeit und Ort	senkrecht zur Sonne	im Körper- schatten	Hang gegen Sonne (Hanglicht)	Hang gegen Boden (Bodenlicht)
<i>1020—11 Uhr</i>				
Unteres Seslerietum	164	14	131—164	5,7 (5,2—6,1)
Vorderes Nardetum	171	17	148—151	5,4 (5,1—6,0)
Oberes Seslerietum S (□ 23)	176	17	151—171	6,6 (6,0—7,2)
Windecke (waagrecht und kl. Abweichungen gegen N u. S)				
Rasen	177	15	98—148	6,4 (4,9—7,4)
gegen Fels				11,2
Hint. Nardetum, nicht gemäht	176	17	131—145	5,6 (5,4—6,0)
gemäht				8,4 (8,2—8,5)
Vorderes Empetretum	174	14	69,3 (36—95)	4,2 (3,7—5,1)
Hinteres Empetretum, Absätze	172		105,8 (102—115)	4,1 (3,3—4,6)
Stufen			50,5 (43—66)	3,8 (2,7—5,2)
<i>1235—1315</i>				
Unteres Seslerietum	166	21	101,2 (66—141)	4,7 (4,1—5,4)
Vorderes Nardetum	171	26	128	5,4 (4,8—6,1)
Oberes Seslerietum, Rasen	171	21	121 (99—154)	5,8 (5,2—6,6)
gegen Fels				6,6
Windecke, gegen Rasen	174	25	130 (108—148)	7,1 (5,5—7,8)
gegen Fels				11,4 (11,4—11,5)
Hint. Nardetum, nicht gemäht	167	24	119 (112—128)	5,5 (5,2—5,9)
gemäht				8,1 (7,8—8,3)
Vorderes Empetretum, Sonne	166	21	79,5 (69—92)	3,5 (2,9—4,1)
Schatten			15,6 (10,5—21,7)	
dunkle Ecke				1,7
Hinteres Empetretum, Sonne	164	23	68,2 (42,7—110)	3,0 (2,4—3,5)
Schatten			16 (14,4—18,1)	2,0 (1,1—2,5)
<i>1535—1605</i>				
Unteres Seslerietum				
(Rasen im Schatten)	148	31	20,4 (19—22)	1,4 (1,0—2,0)
Vorderes Nardetum	149	31	53,8 (52,5—59,0)	6,7 (4,5—10,0)
Oberes Seslerietum, Sonne	141	26	29,5—49,2	3,1 (2,5—3,7)
Schatten		25*		1,1 (0,9—1,2)
Windecke	(135)	31	89,2 (82,0—98,5)	5,4 (4,8—6,0)
Hint. Nardetum, nicht gemäht	139,5	36	42 (36,0—49,3)	3,4 (3,2—3,8)
gemäht				4,8 (4,6—5,1)
Vord. Empetretum, Schatten	—	22*	18,8 (16—23)	1,0 (0,7—1,5)
Hinteres Empetretum	118	28	23—27	1,0 (0,7—1,3)

Wenn nichts anderes bemerkt, wurde Messung in der Sonne ausgeführt. — * Bergschatten.

Vormittag-Messung: Himmel ganz klar.

Mittag-Messung: Sonne zeitweilig ganz leicht verschleiert.

Nachmittag-Messung: Sonne zeitweilig etwas verschleiert; für Messung relativ helle Augenblicke gewählt.

Die Lichteinstrahlung in der Richtung des Hanges ergibt für die verschiedenen Gesellschaften wesentliche Verschiedenheiten. Die gleichmäßig geneigten, glatten Rasen des vorderen und hinteren Nardetums ergeben für die verschiedenen Messungen nur geringe Unterschiede, während diese in den treppig aufgebauten Gesellschaften recht groß sind, ebenso auch auf der Windecke, wo der schwache Abfall gegen die Sonnseite oder gegen die Schattseite hin sich im Lichtgenusse stark auswirkt. Im hinteren Empetretum wurden die Absätze und die Stufen getrennt aufgezeichnet, und es ergibt sich für die Absätze ein doppelt so hoher Wert als für die Stufen. Die Einstrahlung bleibt im Empetretum bedeutend hinter den andern Gesellschaften zurück, auch weit hinter dem über dieser Gesellschaft gemessenen gesamten Lichtstrahlungswert. Darin kommt zum Ausdruck, daß um diese Tageszeit die Empetretumhänge bereits stark von der Richtung des Lichteinfalles abliegen. Im Sonnenhang des Seslerietums dagegen erreichen die Maximalwerte beinahe die Größe der gesamten Lichtstrahlung.

Die Werte für das Bodenlicht halten sich in allen Pflanzengesellschaften in der gleichen Größenordnung und betragen auf bewachsenem Boden bei Besonnung ca. 3000—7000 Lux, rund ein Zehntel bis ein Vierzigstel der gesamten Lichteinstrahlung. Immerhin sind wesentliche Unterschiede vorhanden. Das Bodenlicht ist im Seslerietum, besonders im oberen, und auf der Windecke am höchsten, im Empetretum am niedrigsten. Weitaus am hellsten ist der Felsboden auf der Windecke; er ergibt beinahe doppelt so viele Lux wie der mit Gras bewachsene Boden. Auch die hohen Mittelwerte des oberen Seslerietums und der Windecke sind wohl teilweise durch den Einfluß der im lückigen Rasen verstreuten, hellen Steine bedingt. Auffallend ist die große Helligkeit des frisch gemähten Rasens im hinteren Nardetum. Sie ist um genau 50 % höher als im ungemähten Rasen und repräsentiert die höchste, im Rasen des Alpengartens überhaupt gemessene Lichtstrahlung. Sie dürfte zum Teil darauf beruhen, daß die glatt gemähte Rasenfläche das Licht weniger zerstreut und mehr zurückwirft als der hoch gewachsene Rasen, zum größeren Teil aber auf der hellen Färbung der von der Mahd in der Tiefe des Rasens verborgenen Stengelteile. Die bekannte Erscheinung, daß die gemähten Rasenstellen sich durch helle Färbung hervorheben,

was besonders an den Gebirgshängen auf weite Entfernung zu erkennen ist, findet hier ihre Bestätigung durch exakte Messung.

Die zweite Messung am gleichen Tag, die während des Höchststandes der Sonne ausgeführt wurde, litt darunter, daß die Sonne ganz leicht verschleiert war. Die höchstmöglichen Werte wurden deshalb nicht erhalten; die gesamte Lichtstrahlung bleibt um einiges hinter der des Vormittages zurück. Indessen zeigt die Messung der Gesamtlichtstrahlung, daß die Lichtstärken während der Zeit der Messung nicht stark schwankten, so daß die Ergebnisse verglichen werden können. Sie schließen sich im wesentlichen an die der ersten Meßreihe an. Trotz der Abnahme des Gesamtlichtes hat das diffuse Licht beträchtlich zugenommen und erreicht ein Siebentel bis ein Achtel des Gesamtlichtes. Das Hanglicht hat im ganzen vorderen Gartenteil stärker abgenommen als das Gesamtlicht, mit Ausnahme der Windecke, wo es gleich geblieben ist. Auch im hinteren Empetretum blieb die Einstrahlung wenig verändert, und im vorderen Empetretum nahm sie an der Sonne sogar zu, wohl als Folge des höheren Sonnenstandes sowie der Zunahme des diffusen Lichtes. Im vorderen und hinteren Empetretum sind bereits beträchtliche Teile in den Schatten geraten, und ihr Lichtgenuß ist übereinstimmend auf ein Viertel bis ein Fünftel desjenigen der besonnten Hänge zurückgegangen.

Die 3. Messung wurde im Nachmittag ausgeführt, in einem Zeitpunkte, da die Sonne bereits anfang, sich vom Alpengarten zurückzuziehen. Die Verschleierung der Sonne war etwas stärker geworden als zur Mittagszeit, und die Gesamtlichtwerte sind dementsprechend kleiner. Bemerkenswert ist der starke Abfall im Empetretum. Das vordere Empetretum liegt bereits ganz im Schatten. Zugenommen hat wiederum das diffuse Licht, dessen Wert jetzt mehr als zweimal so groß ist wie im Vormittag und zirka ein Viertel bis ein Fünftel des Gesamtlichtes ausmacht. Diese Zunahme ist in erster Linie eine Folge der mit der Bewölkung parallelgehenden, stärkeren Lichtzerstreuung. Das Hanglicht beträgt im Schatten (vorderes Seslerietum, Empetretum) mit ca. 20 000 Lux ein Fünftel bis ein Siebentel des Gesamtlichtes. Aber auch auf den besonnten Hängen ist sein Wert stark abgesunken. Weitaus am höchsten (89 000 Lux) ist es auf der Windecke geblieben. Das Bodenlicht ist naturgemäß auch kleiner ge-

worden, hält sich aber an den besonnten Stellen noch in der Größenordnung von Mittag und Vormittag. Im vorderen Nardetum ist sein Mittelwert sogar größer. Wo die Sonne nicht mehr hinkommt, schwankt die Lichtstärke nur um 1000 Lux herum, macht also noch etwa ein Zwanzigstel der Einstrahlung aus, weniger als ein Hundertstel des Gesamtlichtes. An den besonnten Stellen dagegen hat sich der Wert des Bodenlichtes im Verhältnis zum Gesamtlicht und zum Hanglicht vergrößert.

TABELLE 59

Lichtmessungen mit Luxmeter im Alpengarten am 19. VIII. 1939. Werte in 1000 Lux.

Zeit und Ort	Senkrecht zur Sonne	Im Körper- schatten	Hang gegen Sonne (Hanglicht)	Hang gegen Boden (Bodenlicht)
715—730				
Vorderes Seslerietum	123	25	94 (79—112)	3,9 (3,1—4,4)
Vorderes Nardetum	118	22	71,2 (59—82)	3,5 (3,0—3,9)
Oberes Seslerietum, Rasen gegen Fels	128	24	92,5 (72,2—115)	4,8 (4,3—5,4)
Windecke (ohne Sonne)	49			7,3
815—830				
Windecke, Rasen gegen Fels	141	25	56,8 (49—62,5)	4,2 (3,7—4,6)
Hinteres Nardetum, nicht gemäht gemäht	144	25	94 (82—108)	4,6 (4,3—4,9)
Vorderes Empetretum	151	36	80,5 (59—108)	5,9 (5,7—6,2)
Hinteres Empetretum, Absätze Stufen	153	42	72 (46—105)	3,8 (3,1—4,6)
			91,5 (69—108)	4,7 (4,1—5,2)
				6,6 (5,8—8,6)

Himmel am frühen Morgen klar; bald Bewölkung (Messung im vorderen Nardetum) und Abbruch der Messung. Nach 8 Uhr wieder Sonne und Fortsetzung der Messung.

Um die Lichtverhältnisse des frühen Vormittags zu erfassen, wurde am folgenden Morgen (19. VIII.) noch eine Messung ausgeführt (Tab. 59). Leider konnte nur in der ersten Station bei klarem Himmel beobachtet werden; dann trat Bewölkung ein, die zum vorzeitigen Abbruch der Messung führte. Eine halbe Stunde später ging die Bewölkung zurück, und die Beobachtung konnte bei kaum beeinträchtigter Sonnenstrahlung beendet werden. Die Gesamtlichtstärke bleibt am Morgen wesentlich hinter derjenigen vom späteren Vormittag des Vortages zurück. Dagegen ist das diffuse Licht hoch, was wohl durch eine leichte Trübung der

Atmosphäre bedingt ist. Sehr auffallend ist die Höhe des diffusen Lichtes um 8.30 Uhr im Empetretum, wo sein Anteil bis auf 27,5 % des Gesamtlichtes steigt. In bezug auf das Hanglicht bleibt die Windecke weit unter den Werten der anderen Stationen, was sich als Folge des niederen Sonnenstandes ergibt, welcher die der Sonne ausgesetzten steilen Hänge begünstigt. Diese Begünstigung der Steilhänge zeigt sich besonders deutlich im hinteren Empetretum, wo die Stufen mehr Licht erhalten als die Absätze. Um 11 Uhr des Vortages war das Verhältnis bereits in ausgeprägtem Maße umgekehrt. Das Bodenlicht erreicht in den meisten Stationen etwa zwei Drittel desjenigen des späteren Vormittags vom Vortage und geht somit einigermaßen der Gesamtlichtstärke parallel. Nur im Empetretum steht es höher, besonders im hinteren Empetretum. Es ergibt sich auch hier die morgendliche Begünstigung des Lichtgenusses im Empetretum.

Eine weitere Serie von Lichtmessungen wurde am 23. Juni 1942, zur Zeit des höchsten Sonnenstandes, vorgenommen (Tabelle 60, Abb. 55). Leider war der Himmel nur zur Zeit der Morgenmessung vollkommen klar; gegen Mittag trat Bewölkung auf, die wahrscheinlich den Lichtgenuß ein wenig beeinträchtigte, obschon alle Messungen bei Sonne durchgeführt werden konnten. Das Gesamtlicht stieg während der morgendlichen Messung von 121 000 auf 136 000 Lux an. Die Mittagwerte sind denen vom August zu vergleichen; das absolute Maximum steht auf gleicher Höhe wie am 18. VIII. 1939. Der Lichtabfall im Empetretum tritt um Mittag deutlich in Erscheinung. Der Anteil des diffusen Lichtes ist am Morgen niedrig, im unteren Seslerietum ein Zwölftel, an den übrigen Meßstationen ein Zehntel des Gesamtlichtes, nur im hinteren Empetretum etwas höher (ein Neuntel des Gesamtlichtes). Bis Mittag steigt das diffuse Licht auf mehr als den doppelten Wert an, bleibt aber im unteren und oberen Seslerietum deutlich niedriger als in den übrigen Stationen, eine Erscheinung, die bereits im August festgestellt worden war.

In bezug auf die Einstrahlung (Hanglicht) ist am Morgen und Vormittag zwischen Sonn- und Schattenlage (Seslerietum-Empetretum) in den hellbesonnten Partien kein wesentlicher Unterschied vorhanden. Das hellste Licht wurde sogar im hinteren

TABELLE 60

Lichtmessungen mit dem Luxmeter im Alpengarten am 23. VI. 1942. Werte in 1000 Lux.

Zeit und Ort	Senkrecht zur Sonne	Körper-schatten	Hang gegen Sonne (Hanglicht)		Hang gegen Boden (Bodenlicht)	
			Absätze (Hang flach)	Stufen (Hang steil)	Absätze (Hang flach)	Stufen (Hang steil)
615—655						
Unteres Seslerietum	121	10	91,1 (80—104)		4,9 (4—6)	
Vorderes Nardetum	121	12	57,5 (43—76)		2,9 (2—3)	
Oberes Seslerietum, Rasen	123	12	98,2 (80—115)		4,4 (4—5)	
gegen Fels					5,8 (5—8,5)	
Windecke	126	12,5	39,4 (26—49)		2,6 (1—4)	
gegen Fels					3,8 (2—6)	
Hinteres Nardetum	131	13	66,3 (60—74)		3,7 (3—4)	
Vorderes Empetretum	136	13,5	41,0 (33—46)	101,4 (89—112)	3,4 (3—4)	4,1 (2—6)
Hinteres Empetretum	135	15	51,5 (46—66)	111,3 (95—135)	4,0 (3—5)	3,8 (3—5)
1215—1255						
Unteres Seslerietum	177	22	161,0 (151—168)	128,0 (95—148)	5,0 (3—6)	
Vorderes Nardetum	174	27,5	151,8 (141—164)		5,5 (5—6)	
Oberes Seslerietum, Rasen	174	23	166,6 (148—164)	116,2 (80—158)	7,2 (7—8)	6,6 (5—8)
gegen Fels					7,9 (5—10)	
Windecke, Rasen	172	32	144,3 (135—161)		5,3 (4—7)	
gegen Fels					5,5 (5—6)	
Hinteres Nardetum	175	31	145,4 (144—148)		4,7 (3—6)	
Vorderes Empetretum	167	30,5	138,8 (128—148)	18 (13—30)	4,6 (4—5)	1,6 (1,4—1,8)
Hinteres Empetretum	167	31	130,1 (118—144)	17,8 (8—29)	4,7 (4—5)	1,9 (1,1—2,9)

Nach Beendigung der Messung: Sonne im hinteren Nardetum = 172. Himmel vormittags vollkommen klar, gegen Mittag bewölkt; doch Messungen noch in voller Sonne ausgeführt.

Empetretum gefunden. Aber die Streuung der Lichtwerte ist im Empetretum bereits am Morgen viel größer als im Seslerietum; relativ dunkle Partien liegen neben sehr hellen. Das Hanglicht zeigt die gleichen Erscheinungen im tageszeitlichen Wechsel wie im August. Am Morgen sind wiederum die flachen Hänge (Nardetum und noch mehr Windecke) und die Absätze der Steilhänge

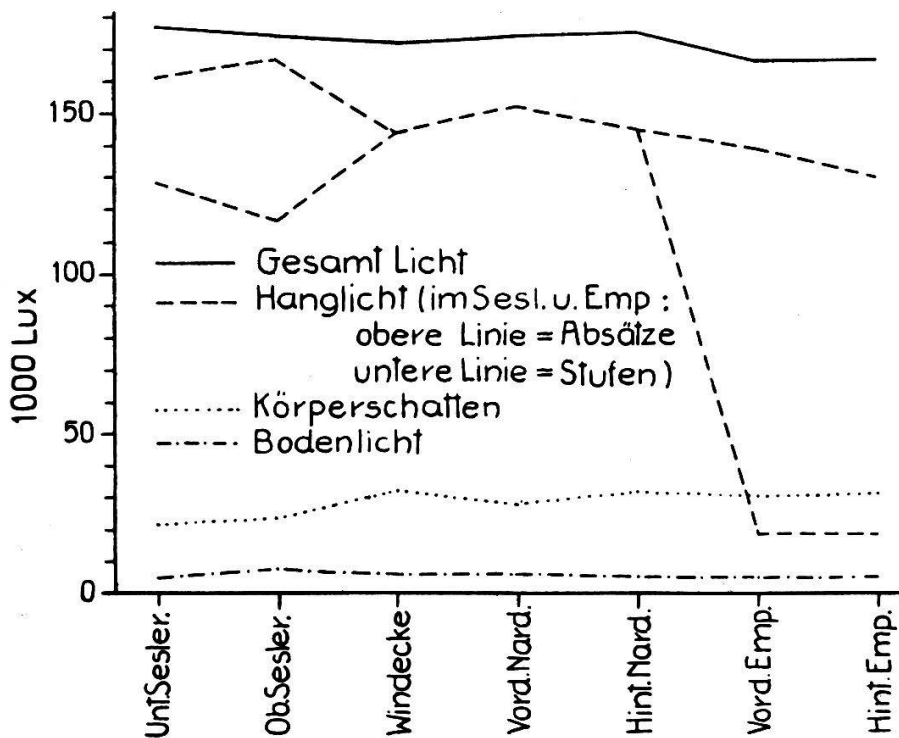


Abb. 55. Lichtstärke in verschiedenen Pflanzengesellschaften, gemessen mit dem Luxmeter am 23. Juni 1942, mittags.

weniger bestrahlt als die Stufen der Steilhänge. Die höchsten in dieser Zeit gemessenen Lichtwerte fallen auf die Stufen in den Empetretumbeständen, die mehr als doppelt so hell sind wie die zugehörigen Absätze. Am Mittag hat sich das Verhältnis umgekehrt; die flachen Hänge sind heller bestrahlt als die steilen; die Nardeta und die Windecke haben stark aufgeholt. Besonders ausgeprägt erscheint die Differenzierung der Absätze und Stufen im Empetretum. Die Absätze bleiben zwar hinter den sehr hellen Seslerietumabsätzen beträchtlich zurück, weniger hinter Windecke und hinterem Nardetum, stehen aber wesentlich über den Augustwerten, was als Folge des höheren Sonnenstandes aufzufassen ist. Die Stufen dagegen erhalten die Sonne nur noch in ganz schiefer

TABELLE 61

Lichtmessungen mit dem Luxmeter im Alpengarten am 1. X. 1942. Werte in 1000 Lux.

Zeit und Ort	Senkrecht zur Sonne	Körper-schatten	Hang gegen Sonne (Hanglicht)		Hang gegen Boden (Bodenlicht)	
			Hang flach (Absätze)	Hang steil (Stufen)	Hang flach (Absätze)	Hang steil (Stufen)
735—825						
Unteres Seslerietum	118	7,5	29,5 (20—36)	93,4 (69—108)	4,1 (± 4)	4,0 (± 4)
Vorderes Nardetum	121	9,0	42,2 (30—56)		3,8 (± 4)	
					ca. 100	
Oberes Seslerietum, gegen Schnee	121	5	45,9 (36—62)	112,7 (85—121)	3,8 (3—4)	4,4 (4—5)
					5,9 (5—8)	
Windecke, Rasen, Sonne	128	8,5	40,3 (33—53)		2,5 (2—3)	
gegen Fels, Sonne					3,8 (3—4)	
Schatten			14,4 (10—20)			
Hinteres Nardetum	128	9	49,8 (39—62, z. T. Schnee)		4,0 (± 4)	
gegen Schnee					ca. 75	
Vorderes Empetretum, Sonne	134	8,5	33,9 (23—39)	44,3 (39—49)	2,9 (2—4)	2,5 (2—3)
Schatten				14,7 (7—26)		
Hinteres Empetretum, Sonne	134	9,5	32,8 (20—49)	45,5 (30—62)	3,1 (2—4)	3,0 (2—4)
Schatten				9,3 (7—11)		
1200—1250						
Unteres Seslerietum	170	12	117 (108—134)	45 (16—89)	5,0 (3—6)	4,6 (4—5)
Vorderes Nardetum	167	10	111 (95—125)		6,5 (6—9)	
Oberes Seslerietum, Rasen	169	13	114 (105—121)	81 (66—102)	5,6 (4—7)	5,7 (4,9—6,3)
gegen Fels					7,1 (6—8)	

Zeit und Ort	Senkrecht zur Sonne	Körper-schatten	Hang gegen Sonne (Hanglicht)		Hang gegen Boden (Bodenlicht)	
			Hang flach (Absätze)	Hang steil (Stufen)	Hang flach (Absätze)	Hang steil (Stufen)
Windecke, Rasen gegen Fels gegen Humus	167	11,5	75,4 (62—95)		5,3 (4—7) 8,3 (7—10) 4,5	
Hinteres Nardetum	165	12	87 (66—112)		6,6 (—7)	
Vord. Empetretum, Schatten	157	9,5	8,6 (4—18; z. T. Sonne = 56)	8,8 (6—11)	0,6 (0,2—1,6)	1,5 (1,1—2,5)
Hint. Emp., Schatten, bewachs. Humus	167	10	7,9 (7—9)	9,4 (8—10)	0,8 (0,5—1,0) 0,6 (0,2—1,0)	1,5 (0,9—2,2)
<i>1530—1610</i>						
Unteres Seslerietum, Schatten	147	15	5,8 (5—7)	6,2 (5—8)	0,6 (0,2—0,9)	2,4 (2,2—3,2)
Vorderes Nardetum	151	17	35 (30—39)		2,7 (2—3)	
Ob. Sesl. (Schatten), Rasen gegen Fels		19	11,3 (9—14)	8,0 (6—11)	0,6 (0,4—0,9) 1,1 (0,8—1,6)	1,2 (0,9—2,1)
Windecke, Rasen gegen Fels	141	19	65,3 (51—80)		3,8 (2—5) 6,7 (4—12)	
Hinteres Nardetum, Schatten		16	13,8 (13—15)		0,9 (0,8—1,0)	
Vord. Empetretum, Schatten		14	7,5 (6—10)	8,4 (4—11)	0,4 (0,2—0,6)	0,6 (0,4—0,9)
Hint. Empetretum, Schatten		13	8,0 (5—10)	8,3 (7—10)	0,4 (0,2—0,6)	1,3 (0,3—2,0)

Morgen und Mittag Himmel völlig klar, am Nachmittag ganz leicht und wechselnd verschleiert. Um 16.30 Uhr Sonne nur noch beim Kompostplatz: 122 000 Lux. Am 2. X. bei völlig klarem Himmel um 15.30 Uhr bei der Windecke = 145 000 Lux, um 16.45 Uhr oberhalb Bahnhof = 112 000 Lux.

Richtung und sind wenig stärker bestrahlt als im August. Auf sie fällt nur ein Siebentel bis ein Achtel des Lichtes der Absätze.

Das Bodenlicht ist am Morgen im vorderen Nardetum und auf der Windecke bedeutend kleiner als in den übrigen Stationen, am hellsten im unteren Seslerietum. Gegen Mittag hin nimmt seine Stärke allgemein zu. Das obere Seslerietum wird am hellsten; die übrigen Stationen sind wenig verschieden. Doch sind im Empetretum nur die Absätze hell geblieben, während die Stufen, verglichen mit dem Morgen, auf weniger als die Hälfte abgenommen haben.

Eine letzte Serie von Messungen bezieht sich auf die kurzen Tage zu Ende der Vegetationsperiode (1. X. 1942). Wir konnten eine Messung am frühen Morgen, eine zweite um Mittag und eine dritte zur Zeit, da die Sonne aus dem Alpengarten verschwindet, ausführen. Der Himmel blieb bis nach Mittag völlig klar; nur während der letzten Messung war er ganz leicht und wechselnd verschleiert. Im Seslerietum und im Empetretum wurden Absätze und Stufen bei der Bestimmung des Lichtgenusses regelmäßig unterschieden (Tab. 61).

Wir finden auch an diesem Oktobertag die gleichen Gesetzmäßigkeiten der Lichtverteilung, die wir im Juni und August festgestellt haben und wollen deshalb nur einige wesentliche Punkte hervorheben. Die Gesamtlichtstärke bleibt wenig hinter den Werten vom Juni und August zurück. Wie im Juni zeigt die Morgenmessung 120 000—135 000 Lux; die Mittagsmessung ergibt im Maximalbetrag nur 7000 Lux weniger als die Höchstwerte aus der Zeit der längeren Tage; um 15.30 Uhr sind die maximalen Lichtstärken am 1. X. und 18. VIII. beinahe gleich hoch. Das diffuse Licht nimmt ebenfalls vom Morgen gegen den Nachmittag hin zu, zeigt aber die niedrigsten beobachteten Werte. Neben der großen Helligkeit des Himmels ist auch zu beachten, daß die Luft einige Tage zuvor durch Schneefall eine kräftige Reinigung erfahren hatte. Auffallend ist am Morgen das sehr schwache, diffuse Licht im oberen Seslerietum.

In bezug auf die Lichteinstrahlung zeigt sich das Empetretum bereits am Morgen gegenüber den übrigen Gesellschaften, insbesondere dem Seslerietum, benachteiligt, was sich weniger für

die Absätze (hier gibt das untere Seslerietum noch etwas tiefere Werte) als vielmehr für die Stufen geltend macht. Ein Teil von ihnen wird im Empetretum infolge des stark gegen Süden gerückten Sonnenaufganges von der Sonne überhaupt nicht mehr erreicht, und die besonnten erhalten weniger als die Hälfte des Lichtes, das ihnen im Seslerietum zukommt. Um Mittag sind Ab-

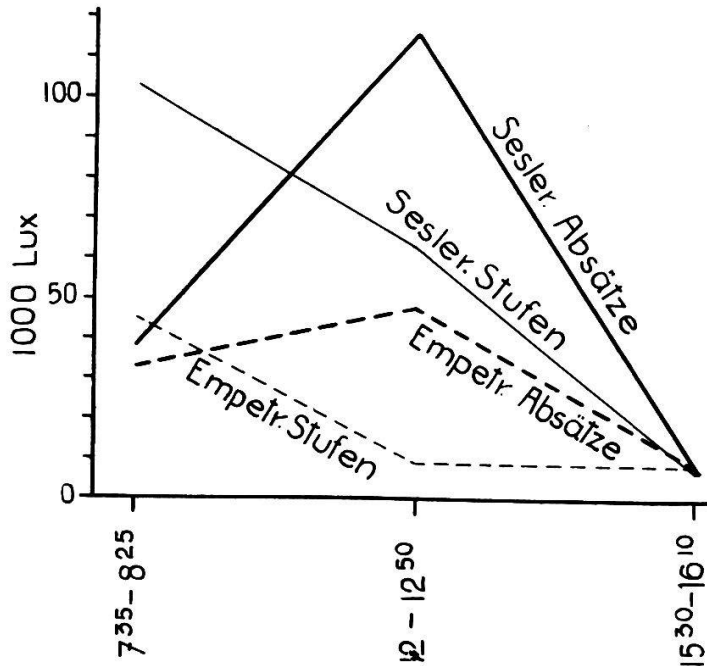


Abb. 56. Mittelwerte des im Seslerieto-Semperviretum und Empetreto-Vaccinietum auf die Stufen und Absätze zu verschiedenen Tageszeiten einfallenden Lichtes, gemessen mit dem Luxmeter am 1. Oktober 1942.

sätze und Stufen des Empetretums mit Ausnahme einiger breiterer Terräßchen bereits im Schatten, mit einem Lichtgenuß von 8000 bis 9000 Lux im Mittel, 4000—18 000 im Extrem. Im Seslerietum zeigen Absätze und Stufen sehr schön die Erscheinung, die wir regelmäßig im Sommer für das Empetretum gefunden haben (Abbildung 56): am Morgen empfangen die Stufen mehr Licht, und bis zum Mittag kehrt sich das Verhältnis um, im unteren Seslerietum stärker als im oberen. Zur Zeit der Nachmittagsmessung war auch das Seslerietum bereits im Schatten, und die Werte für Stufen und Absätze sind niedrig, meist für die Stufen, die ja freier exponiert sind, etwas höher. Die Schattenwerte sind im Empetretum und Seslerietum beinahe gleich, von der Größe, wie sie im Empetretum bereits um Mittag erreicht worden war, ja im etwas

weniger frei gelegenen unteren Seslerietum war das Hanglicht am niedrigsten. Im hinteren Nardetum, das ebenfalls im Schatten lag, war die Einstrahlung höher als an den Steilhängen.

Das Bodenlicht zeigt, soweit Besonnung vorliegt, keine wesentlichen Unterschiede zwischen Absatz und Stufe. Am beschatteten Hang dagegen sind die Stufen bei nur kleiner Helligkeit (im Extrem 200—3200 Lux, in den Mittelwerten 400—2400 Lux) 2- bis 4mal heller als die Absätze. Wie stets erwies sich der Fels als bedeutend heller als der bewachsene Boden. Im Empetretum und auf der Windecke wurden auch Messungen gegen den dunklen Humusboden hin vorgenommen, die nur eine wenig kleinere Helligkeit ergaben als gegen den Rasen. Messungen gegen die Schneedecke, von der im Nardetum Reste vorhanden waren, ergaben Helligkeiten, die über dem Wert des Hanglichtes lagen und sich bereits der Gesamtlichtstrahlung näherten.

Zur Ergänzung bringen wir noch einige Messungen des Bodenlichtes, die wir mit dem photographischen Lichtmesser Tempiphot am 19. VIII. 1938 im Alpengarten ausgeführt haben. Dieser Lichtmesser beruht auf dem gleichen Prinzip wie das Luxmeter und gibt für eine bestimmte Lichtempfindlichkeit der photographischen Platte die notwendige Belichtungszeit in Sekunden an. Der Himmel war zur Zeit der Messungen vollkommen klar. Die Messung wurde gegen den Hang hin vorgenommen, in ca. 80 cm Entfernung vom Boden (Bodenlicht). Die Ergebnisse, die wir in relative Lichtstärken umgewandelt

TABELLE 62

Messung des Bodenlichtes in verschiedenen Teilen des Alpengartens mit dem Tempiphot am 19. VIII. 1938. Die Werte geben die relativen Lichtstärken.

	9.15 Uhr (Sonne SE)	13 Uhr (Sonne ca. S)
Unteres Seslerietum SE	20	8
Oberes Seslerietum SE	20	8
Oberes Seslerietum SW	8	8
Vorderes Nardetum SE	20	8
Vordere Frischwiese E	8	8
Hintere Frischwiese flach E	8	8
Windecke	8	20
Vorderes Empetretum NE	4	1
Hinteres Empetretum NE	4	2
Ca-Geröll, E	20	20
Si-Geröll, N	20	20

haben, stimmen mit denen des Luxmeters im wesentlichen überein (Tab. 62). Die geringste Helligkeit ergibt das Empetretum; sehr hell sind die Geröllflächen; die nach Südosten oder Nordosten gerichteten steilen Hänge sind am Vormittag heller als um Mittag, während die Windecke um Mittag am hellsten erscheint.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Lichtmessungen

Mit den Graukeilphotometern wurden ganze Tagessummen gemessen, mit dem Luxmeter Augenblickswerte. So können sich die beiden Untersuchungsmethoden ergänzen, wobei allerdings zu beachten ist, daß sie nicht den gleichen Wellenbereich umfassen: das Graukeilphotometer im wesentlichen nur kurzwellige Strahlen des Lichtspektrums und Ultraviolett, das Luxmeter den größten Teil des Lichtspektrums. Ferner ist das Graukeilphotometer mit vielartigen Fehlern behaftet, die das Ergebnis sehr verändern können, während das Luxmeter verhältnismäßig exakt arbeitet.

Die höchsten Tagessummen brachte naturgemäß der Juni. Wir maßen als höchsten Wert 845 relative Lichteinheiten (R. L.) am 10. VI. 1932 im oberen Seslerietum SW. Über 400 R. L. wurden wiederholt in den Monaten Juni, Juli, August gemessen, und zwar in allen Meßstationen, auch in Schattenlage. Noch am 1. Oktober wurden einmal im oberen Seslerietum und auf der Windecke über 400 R. L. gemessen, wiederholt anfangs Oktober gegen 400. Das Mittel aller Messungen erreicht in den Sonnenlagen 300—350 relative Lichteinheiten, im Monat Juni 350—500. Bei trübem Wetter ergaben die Photometer in jedem Monat Tagessummen, die unter 100 Einheiten blieben. Der niedrigste beobachtete Wert von 55 R. L. wurde im Juni gemessen, und zwar im vorderen Empetretum. Kurzfristige Messungen mit dem Graukeilphotometer im Sommer 1932 zeigten bei horizontaler Lagerung des Instrumentes über die Mittagszeit Stundenwerte von ca. 60 R. L. Bei bedecktem Himmel oder Nebel sanken sie auch über Mittag bis auf 8—10 R. L. pro Stunde. E. R ü b e l (1908) fand auf Berninahospiz an dunklen Tagen ebenfalls sehr niedrige Lichtwerte und meint, daß die Minimalwerte überhaupt in alpiner Höhenlage viel kleiner seien als im Tieflande (Wien). Andererseits kann aber die Lichtstärke bis in den Herbst hinein sehr hoch bleiben. Das lehren auch

die Ergebnisse vom 7. X. 1932, wo im oberen Seslerietum zwischen 10.15 und 14.15 Uhr ein mittlerer Stundenwert von 120 R. L. erreicht wurde.

Die Messungen mit dem Luxmeter bestätigen diese Feststellung. Die höchste gemessene Lichtstärke betrug im Juni 1942 und August 1939 177 000 Lux, im Mai 1947 sogar 192 000 Lux, was nicht weit von dem auf der Schinigeplatte möglichen Maximum entfernt sein dürfte. Noch anfangs Oktober 1942 wurde ein Maximalwert von 170 000 Lux festgestellt.

Das diffuse Licht erwies sich als eine sehr schwankende Größe. In der Regel war es am Morgen am kleinsten und nahm gegen Mittag und Nachmittag zu, vor allem im Zusammenhang mit der zunehmenden Bewölkung. Messungen mit dem Photometer ergaben im Schlagschatten eines ausgespannten Tuches eine Lichtstärke von ein Zweitel bis ein Drittel, im Hausschatten ein Viertel bis ein Sechstel der im vollen Licht gemessenen. Das Luxmeter wies für das Licht im Körperschatten relativ zum Gesamtlicht einen kleineren Anteil auf, meist ca. ein Zehntel bis ein Achtel, aber mit Extremen von einem Vierundzwanzigstel bis ein Viertel. Die größere Variabilität dieses Verhältnisses gegenüber den Photometerwerten ist auf die bedeutende Zahl von Messungen zurückzuführen, die alle Tageszeiten und Bewölkungsmöglichkeiten umfaßt. Der kleinere Anteil des diffusen Lichtes bei der Messung mit dem Luxmeter kann teilweise damit begründet werden, daß mit dem Luxmeter jeweilen durch senkrechte Stellung zum Lichteinfall die größte Gesamtlichtstärke gesucht wurde, während das Photometer waagrecht aufgestellt war, teilweise aber auch mit der ungleichen Strahlungsempfindlichkeit der beiden Typen von Meßapparaten. Das Luxmeter reagiert auch auf Lichtstrahlung von mittlerer und größerer Wellenlänge, das Photometer beinahe ausschließlich auf kurzwelliges Licht. Infolgedessen wird das Luxmeter für die direkte Sonnenstrahlung, in der ja reichlich langwelliges Licht enthalten ist, im Vergleich zur diffusen Strahlung höhere Werte ergeben als das Photometer. Für die Vegetation ist ein hoher Anteil des diffusen Lichtes vorteilhaft. Je größer der Anteil der diffusen Helligkeit an der Totalstrahlung ist, desto mehr werden die Unterschiede der verschiedenen Expositionen im Lichtgenuß ausgeglichen (Geiger, 1942, S. 202).

Die hohen Lichtwerte des Herbstes beruhen wohl darauf, daß die geringere Sonnenhöhe durch die Klarheit der Luft und die größere Annäherung der Erde an die Sonne teilweise kompensiert wird. Die kleineren Tagessummen dieser Jahreszeit sind also vor allem eine Folge der kürzeren Tage.

Vergleichbare Messungen der Lichtstärke mit dem Luxmeter sind mir aus unseren Gebirgen nicht bekannt. Dagegen hat C. D o r n o wiederholt (1925, 1927) die Ergebnisse von Untersuchungen mit dem Graukeilphotometer veröffentlicht, die in den Jahren 1923—1926 durch eine von ihm gegründete Arbeitsgemeinschaft ausgeführt wurden.

Die Messungen erstreckten sich auf eine große Zahl von Stationen von den Tropen bis in den hohen Norden. In den Schweizer Alpen war nur das zentrale Graubünden beteiligt (Davos, 1600 m, Arosa, 1860 m, und Muottas Muraigl bei Pontresina, 2450 m). D o r n o verzeichnet die monatlichen Mittelwerte der täglichen Lichtsummen (für Muottas Muraigl die Mittelwerte von kürzeren Beobachtungsperioden), dazu für jeden Monat (resp. Beobachtungsperiode) die höchsten und zum Teil auch niedrigsten Tageswerte. Die Photometer wurden in freier Lage horizontal ausgelegt, so daß auf dem Tagesstreifen jeweilen die ganze vom Photometerpapier registrierte Tagessumme enthalten war.

Verglichen mit den Ergebnissen unserer Schinigeplattemessungen sind die Lichtsummen der Graubündner Stationen bedeutend größer, während der Monate Juni bis September in Arosa 520 bis 746, in Davos 460—829 relative Lichteinheiten im Monatsmittel. Vor allem erreichen die Maximalwerte sehr hohe Summen, wiederholt über 1000 R. L. (in Arosa 1117, in Davos 1126, in Muottas Muraigl im Mittel vom 18./19. VI. 1924 sogar 1369 R. L.). Mittelwerte und Maximalwerte, wie die Schinigeplatte sie bietet, gibt D o r n o für die in den nordöstlichen Alpen, aber in weit größerer Höhe gelegene Zugspitze (2963 m) und für das Alpenvorland (Zürich, München, Feldberg u. a.). Da die Ergebnisse, wenigstens in der Größenordnung, sicher vergleichbar sind (vgl. den Standard-Fehler, S. 227), so ergibt sich, daß die mit dem Graukeilphotometer gemessene, kurzwellige Strahlung in den zentralen Alpen Graubündens bedeutend höher ist als im Gebiete der Schinigeplatte, sogar an ganz hellen Tagen.

Sehr ausgedehnte Lichtmessungen wurden von E. R ü b e l in den Jahren 1905—1907 auf Berninahospiz (2300 m) ausgeführt. Mit Wynnes Infallible, also durch Schwärzung eines lichtempfind-

lichen Papiers, maß er die momentane Lichtstärke und berechnete daraus die täglichen Lichtsummen. Diese lassen sich leider mit den Lichteinheiten der Graukeilphotometer nicht direkt vergleichen, zeigen aber doch jahreszeitliche Schwankungen, die ungefähr den unsrigen entsprechen. Er erhielt stets sehr große Anteile des diffusen Lichtes, bis zur Hälfte des Gesamtlichtes (vgl. E. Rübel, 1908, 1912, 1932).

Zum Vergleich mit den Lichtstrahlungswerten des Vorlandes führe ich noch die Ergebnisse einiger Messungen an, die Herr Dr. M. Bider in Basel ausgeführt hat und mir in freundlicher Weise mitteilte.

Er legte die Graukeilphotometer Eder-Hecht ebenfalls in horizontaler Lage aus, das eine Instrument bei abgeschirmter Sonne, doch der diffusen Strahlung voll ausgesetzt, das andere frei an die Sonne. An sonnigen Tagen (Besonnung größer als $\frac{3}{4}$ der maximalen Sonnenscheindauer) erhielt er im Juni bis August im Mittel der Jahre 1930/32 rund 460 relative Lichteinheiten, im Schatten ungefähr die Hälfte. Die gesamte Lichtsumme hält sich also in der Größenordnung, die wir auch auf der Schinigeplatte gefunden haben; aber der Anteil des diffusen Lichtes scheint viel größer. Doch kann dieser Feststellung nicht große Bedeutung zukommen; denn vielleicht war die abgeschirmte Fläche kleiner als bei unsern Photometerversuchen. Im Juni 1932 und an den vorausgehenden Monaten (für spätere Monate liegen keine Messungen vor) wurden die höchsten mittleren Lichtsummen nicht an den wolkenlosen, sondern an den bewölkten Tagen gefunden. Gegen den Herbst hin fallen die Lichtsummen stark ab. Während sie an sonnigen Tagen des Monats August der Jahre 1930/32 465 R. L. betrugen, sanken sie im September auf 277 und im Oktober auf 203 R. L. Die mittlere tägliche Lichtsumme für die genannten Zeitperioden erreichte den Höchstwert im Juni und fiel gegen den Oktober ziemlich gleichmäßig, von 373 auf 147 R. L., ab. Allem Anschein nach verhält sich auf der Schinigeplatte der Herbst günstiger als in Basel.

Parallelmessungen des Hanglichtes oder des Bodenlichtes ergaben oft innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft sehr abweichende Werte, sowohl bei den Photometer-Tagessummen (nur Hanglicht) als auch bei den Momentanwerten des Luxmeters. Verhältnismäßig wenig verschieden waren Parallelmessungen bei wenig, aber gleichmäßig geneigtem Hang mit glattem Rasen, wie er vor allem in unseren Nardeta vorlag, stark verschieden dagegen an den treppig gestuften Steilhängen des Seslerietums und des Empetretums mit ihren flachen Absätzen, steilen Stufen, Höhlungen, Buckeln. Hier sind bei niederem Sonnenstand die Stufen heller beschienen. Beim Ansteigen der Sonne kommt der Augenblick, wo Stufen und Absätze gleich hell sind und daraufhin die Zeit, da die Absätze heller

erscheinen. Die Helligkeit von Absatz und Stufe kann noch während sie beide von der Sonne beschienen sind, um mehr als das Doppelte verschieden sein. Am 23. VI. 1942 mittags sind im Empetretum die Stufen, die von der Sonne nur noch unter ganz schiefe Winkel getroffen werden, sogar 7—8mal dunkler als die Absätze. Sind nur die Absätze oder die Stufen der direkten Besonnung ausgesetzt, so werden die Unterschiede in der Helligkeit sehr groß. Wenn wir die Mannigfaltigkeit der Geländeverhältnisse berücksichtigen — auch der an sich homogene Absatz verhält sich in seinem äußeren und seinem stufennahen, inneren Teil wesentlich verschieden — ferner die Verschiedenheiten der Sonnenhöhe im Laufe einer Vegetationsperiode, die täglichen Verschiedenheiten der Bewölkung, erhalten wir so unendlich viele Kombinationsmöglichkeiten für die den Lichtgenuß einer Lokalität bewirkenden Faktoren, daß es begreiflich erscheint, wenn auch parallel nebeneinander ausgeführte Messungen bedeutende Unterschiede ergeben. Auch auf der flachen und dadurch scheinbar für die Lichtverhältnisse homogenen Windecke liegt die Sache nicht einfach. Dieses schmale Grätchen enthält einen Gipfelteil, der flach scheint, aber doch nach allen Seiten etwas abfällt, und schon eine kleine Verschiebung des Instrumentes nach der nördlichen oder südlichen Seite hin ändert den Einfall des Sonnenlichtes ganz beträchtlich. Da die Oberfläche des kleinen Gipfelbodens zum Teil mit Rasen und Spaliergesträuch bewachsen ist, zum Teil der Fels frei liegt, so werden dadurch die Lichtverhältnisse noch weiterhin variiert.

Es sei noch hervorgehoben, daß der Kalkfels, der Kalkfelschutt, der hellbraune Mineralboden, heller ist als der bewachsene Boden, der gemähte Rasen heller als das gewachsene Gras, während der dunkle Humus bei kräftiger Besonnung oft nur wenig hinter der Helligkeit des Rasens zurückbleibt. Enorm hell ist der Schnee. Neuschnee im vorderen und hinteren Nardetum gab am 1. Oktober 1942 eine Rückstrahlung von 60—80 % des Gesamtlichtes, bedeutend mehr als das Hanglicht an Einstrahlung anzeigte.

Für die täglichen Lichtsummen wurde durch einige Photometermessungen der Einfluß der Exposition näher untersucht, indem im August unsere Instrumente in den ver-

schiedenen Himmelsrichtungen und um die höchste Kuppe des Alpengartens aufgestellt wurden. Die höchsten Lichtwerte ergab das flach auf dem höchsten Gipfel aufgestellte Instrument. Unter den Hängen zeigte sich der Osthang begünstigt, der Westhang benachteiligt, was einerseits auf den täglichen Gang der Bewölkung: helle Morgen — bewölkte Nachmittage, anderseits auf den im Westen unmittelbar vorgelagerten Berggrat zurückzuführen ist. An trüben Tagen war zwischen Schattenlage und Sonnenlage kein wesentlicher Unterschied in der Belichtung vorhanden.

Der Vergleich der Lichtverhältnisse in den verschiedenen Pflanzengesellschaften ergibt, wie zu erwarten ist, eine große Vielgestaltigkeit nach der Jahreszeit, der Tageszeit, dem täglichen Bewölkungsgang, der Art der Aufstellung der Instrumente innerhalb der Gesellschaft. Die Graukeile geben im Mittel zahlreicher Bestimmungen die höchste Lichtstärke im oberen Seslerietum, vor allem in Südwestlage, an. Hier findet sich ohne Zweifel der Ort der stärksten Insolation. Das untere Seslerietum, dessen Beobachtungsfläche, wie erwähnt, etwas in den Hang eingesenkt und gegen Westen abgeschirmt erscheint, bleibt dagegen in bezug auf die Lichteinstrahlung ganz bedeutend zurück. Das Seslerieto-Semperviretum zeigt eine große Plastizität gegenüber den Lichtansprüchen: der Lichtgenuß innerhalb dieser Gesellschaft reicht von den höchsten gemessenen Werten bis unter die Mittelwerte der lichtärmsten Gesellschaft.

Da die Gesamtwerte des Seslerietums durch den niedrigen Anteil des untern Seslerietums stark gedrückt werden, so wird das Seslerietum, als Ganzes betrachtet, im mittleren Lichtwert der Photometermessungen von der Windecke etwas übertroffen. Diese Lokalität wird von der Sonne am längsten erreicht, ununterbrochen vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang. Wenn trotzdem hier nicht die höchsten Lichtsummen gemessen werden, so kommt dies daher, daß bestimmte Hanglagen infolge des schiefen Lichteinfalles am Vormittag und Nachmittag eine beträchtliche Steigerung des Lichtgenusses mit sich bringen. Die Narduswiesen und Frischwiesen geben mittlere Lichtwerte. Am lichtärmsten ist, im ganzen genommen, das Empetretum. Das ist begreiflich, da in dieser Gesellschaft die Sonnenscheindauer wesentlich

kürzer ist als an den übrigen, in die Messung einbezogenen Lokalitäten. Aber auffallend sind die starken Schwankungen in der Bestrahlung sowie gelegentliche hohe Lichtwerte. Wir führen dies auf die intensive vormittägliche Lichteinwirkung zurück, wo sich mit dem mehr oder weniger senkrechten Einfall des Sonnenlichtes auf die steilen Nordost-Hänge die große, morgendliche Helligkeit des Himmels vereinigt. Die genauere Analyse zeigt auch, daß die hohen Empetretum-Lichtwerte zur Zeit der langen Tage auftreten, während der Lichteinfall im Herbst in dieser Gesellschaft viel mehr zurückgeht als in allen übrigen. Im Gegensatz dazu hält er sich im untern Seslerietum gerade in dieser Zeit auf bemerkenswerter Höhe.

Die mit dem Graukeilphotometer gefundenen Ergebnisse werden durch die Messungen mit dem Luxmeter bestätigt. Das Hanglicht, das dem mit dem Graukeilphotometer gemessenen Lichte entspricht (immerhin mit der Einschränkung, daß die Photometer in der Regel horizontal hingelegt wurden, die Sperrzelle des Luxmeters in der Richtung des Gefälles des Hanges) zeigt bedeutende Schwankungen. Die gleiche Station kann bei der einen Messung in der Spitzengruppe stehen, in einem anderen Zeitpunkte aber unter den letzten aufmarschieren. Wir geben in Tabelle 63 eine Zusammenstellung der Stationen mit den beiden höchsten und mit den beiden niedrigsten Hanglichtwerten für alle Messungen, die wir ausgeführt haben. Bei getrennter Aufnahme von Stufe und Absatz wurde das Mittel der beiden Werte eingesetzt. Trotzdem die Zahl der Messungen gering ist, sind die Werte repräsentativ.

TABELLE 63

Verteilung der höchsten und niedrigsten Hanglichtwerte auf die einzelnen Stationen (Messung mit dem Luxmeter). Bei jeder Messung wurden die beiden höchsten und die beiden niedrigsten Werte berücksichtigt (nach Tab. 58—61).

	Höchste Lichtwerte	Niedrigste Lichtwerte
Unteres Seslerietum	3mal	1mal
Oberes Seslerietum	6mal	
Vorderes Nardetum	4mal	
Hinteres Nardetum	2mal	
Windecke	3mal	1mal
Vorderes Empetretum		9mal
Hinteres Empetretum		7mal

Die stärkste Schwankung gibt die Windecke, die dreimal den Höchstwert und einmal den Mindestwert aufwies. Das untere Seslerietum hat dreimal den zweithöchsten Wert und einmal den Mindestwert. Ausgesprochen am günstigsten steht das obere Seslerietum da, das 5mal den Höchstwert erreichte, und ausgeprägt am niedrigsten ist das Hanglicht im vorderen und hinteren Empetretum. Hier ist die Lichteinstrahlung am Hang nur am Morgen hoch, ohne Höchstwerte zu erreichen und fällt schon gegen Mittag stark ab, besonders im Herbst.

Das Bodenlicht hält sich bei Besonnung in allen Pflanzengesellschaften ungefähr in der Größenordnung von etwa 3000 bis 6000 Lux, womit es ungefähr ein Dreißigstel bis ein Vierzigstel des Gesamtlichtes ausmacht. Es kann gelegentlich bis auf etwa ein Fünfundzwanzigstel steigen, so mehrfach im unteren und oberen Seslerietum um Mittag; kann aber anderseits bei schiefem Lichteinfall auch stark sinken, zweimal des Morgens auf der Windecke auf rund ein Fünfzigstel und einmal des Mittags im vorderen Empetretum sogar auf rund ein Hundertstel des Gesamtlichtes. Bei Beschattung fällt das Bodenlicht stark ab, auf etwa 1000 Lux (200—3000). Dies trifft innerhalb der Zeiten, in denen wir Messungen ausführten, besonders das Empetretum, im Oktober und teilweise im August aber auch das Seslerietum. Die Absätze, die im Schatten bedeutend dunkler erscheinen als die Stufen, ergeben Helligkeiten wesentlich unter 1000 Lux, während das Gesamtlicht noch 150 000 Lux beträgt. In diesen Fällen erreicht das Bodenlicht nur noch einige Promille des Gesamtlichtes.

Auch das Verhältnis des Bodenlichtes zum Hanglicht erleidet starke Schwankungen, wobei das Bodenlicht im allgemeinen die stabilere Größe darstellt. Bei starker Besonnung erreicht das Bodenlicht etwa ein Zwanzigstel bis ein Fünfundzwanzigstel des Hanglichtes und kann bis auf ein Dreißigstel sinken, bei abnehmender Besonnung auf ein Zwanzigstel bis ein Zehntel steigen. Relativ am höchsten ist es bei leichter Besattung (ca. ein Sechstel, steigt bis zwei Fünftel am 1. X.) und nimmt bei stärkerer Beschattung, wenn die Helligkeit des Bodenlichtes stark zurückgeht, wieder auf etwa ein Fünfzehntel ab. Da das Hanglicht in diesem Verhältnis die beweglichere Komponente darstellt, ist das Verhältnis von Hanglicht und Bodenlicht in den stärker

besonnten Gesellschaften ungünstiger als in den schwächer besonnten, und oberes Seslerietum und Empetretum bilden die beiden Extreme.

Nach W. Möriker (1940, S. 18) soll der Schnee 40—90 % der Strahlung reflektieren, Sand 12—50 % (heller Fels wird wohl dem höheren dieser beiden Werte entsprechen), Rasen 17—32 %, Ackerboden, entsprechend unserem dunklen Humus, 12—16 %. Unsere Messungen ergaben für das rückgestrahlte Licht mit Ausnahme der Schneeoberfläche bedeutend niedrigere Werte, auch wenn sie nur auf das Hanglicht bezogen werden (meist $\pm 5\%$, selten bis 10 %). Sogar im Schatten wird das Verhältnis nicht anders (Empetretum). Dieser auffallende Unterschied beruht wohl darauf, daß ein bedeutender Teil der Lichtstrahlung an der Bodenoberfläche in dunkle Strahlung verwandelt wird und unser Lichtmesser diese nicht mehr wahrnimmt.

Wie bereits bemerkt wurde, umfaßt unser Bodenlicht nicht nur die eigentliche Lichtrückstrahlung vom Boden her, sondern auch seitlich eingestrahltes, diffuses Licht. Um über das Verhältnis des Seitenlichtes zum eigentlichen Bodenlicht Anhaltspunkte zu gewinnen, haben wir einige Lichtmessungen ausgeführt, bei denen auf die lichtempfindliche Zelle schwarze Kartonzylinder von verschiedener Länge und 6 cm Durchmesser lichtdicht aufgesetzt wurden. Schon der 2 cm hohe Zylinder blendete, bei einer Entfernung der Sperrzelle vom Boden von zirka 60 cm, das von der Seite einfallende Licht ab und nahm in direkter Strahlung nur das Licht einer kreisförmigen Bodenfläche von 70 cm Durchmesser auf. Der 5 cm hohe Zylinder schränkte das Bodengebiet, von dem das Licht direkt aufgenommen wurde, auf ca. 30 cm Durchmesser ein, der 10-cm-Zylinder auf 17 cm, der 20-cm-Zylinder auf 10 cm.

Die Messungen wurden am 31. Mai 1947 von 11.50—12.50 Uhr ausgeführt, bei völlig klarem Himmel. Die Ergebnisse sind in Tabelle 64 zusammengestellt. Das Gesamtlicht, senkrecht zur Sonne gemessen, ergab mit 186 000—192 000 Lux die höchsten, je gefundenen Werte. Das diffuse Licht betrug im Körperschatten ca. 20 000 Lux. Maßen wir seine Stärke mit unseren aufgesetzten Röhren, so schwankte sie, je nach der Himmelsrichtung, in be-

TABELLE 64

Lichtmessungen mit dem Luxmeter im Alpengarten am 31. V. 1947, 11.50 bis 12.50 Uhr: Wirkung der Abschirmung des Seitenlichtes auf die gegen den Hang hin gemessene Lichtstärke. Werte in 1000 Lux.

Ort	Senkrecht zur Sonne	Hang gegen Sonne (Hanglicht)	Hang gegen Boden (Bodenlicht), mit vorgesetzter Röhre. Röhre cm Länge :				
			0	2	5	10	20
Ob. Seslerietum	192		7,2	4,2	1,9	0,67	0,23
Stufe		137 (120—150)					
Absatz		174 (163—183)					
Windecke	186	168 (150—186)	7,7	4,7	1,9	0,67	0,27
Vord. Empetretum	186		4,0	2,0	0,7	0,25	0,07
Stufe		44 (23—72)					
Absatz		143 (124—157)					

deutendem Maße. Bereits geringe Richtungsabweichungen erzeugten eine beträchtliche Reaktion. Das Hanglicht erzeugte sich als außerordentlich stark. Das Bodenlicht war ebenfalls sehr hoch, ging aber nicht aus dem Rahmen der früheren Messungen heraus. Schalteten wir unsere Röhren vor, so ging die Lichteinstrahlung

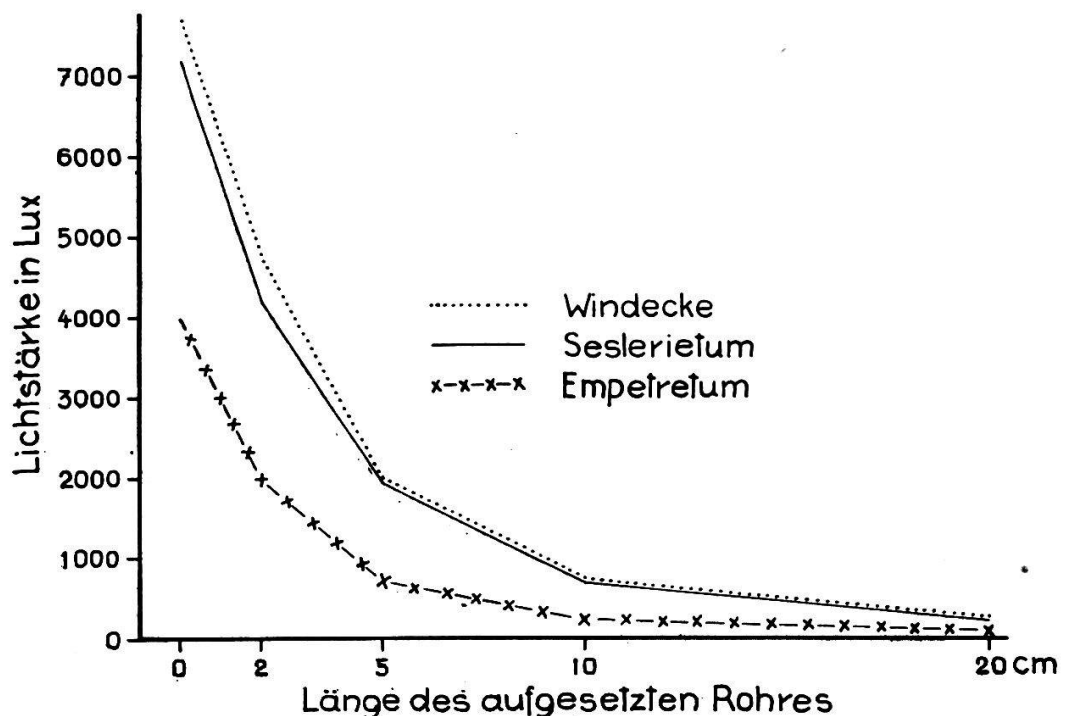


Abb. 57. Reduktion des Bodenlichtes durch auf die Selenzelle aufgesetzte Röhren verschiedener Länge. Gemessen am 31. Mai 1947 mittags im Seslerieto-Semperviretum, Empetreto-Vaccinietum und auf der Windecke.

TABELLE 65

Vergleich von strahlender Bodenfläche und Lichtstärke des Bodenlichtes bei seitlicher Abschirmung der Selenzelle.

Länge des aufgesetzten Rohres	strahlende Bodenfläche	Gemessene Lichtstärke in relativen Einheiten		
		Seslerietum	Windecke	Empetretum
Rohrlänge 20 cm	1	1	1	1
Rohrlänge 10 cm	2,7	2,9	2,5	3,7
Rohrlänge 5 cm	8,5	8,3	7	10
Rohrlänge 2 cm	49	18	17	28
Freie Selenzelle (vollst. Bodenlicht)	∞	31	29	57

zurück (vgl. auch Abb. 57). Schon mit einer 2 cm langen Röhre fiel sie beinahe auf die Hälfte, mit der 5 cm langen Röhre im Seslerietum und in der Windecke beinahe auf ein Viertel, im Empetretum auf ein Sechstel, mit der 10 cm langen Röhre auf ein Zehntel, resp. ein Sechzehntel, und mit der 20 cm langen Röhre auf den unbedeutenden Wert von einem Dreißigstel, im Empetretum ein Sechzigstel, wobei allerdings im Empetretum besonnte Absätze und der helle Ameisenhaufen doppelt so hell waren wie der angegebene Durchschnitt.

Wenn wir diese Abnahme der Lichteinstrahlung mit der Verkleinerung der Bodenfläche, von der das Licht direkt in die Selenzelle gelangen konnte, vergleichen, so ergibt sich das in Tabelle 65 dargestellte Bild. Die 20-cm-Röhre diene als Einheit für Bodenfläche und Lichtstrahlung. Dann nimmt bei der 10-cm-Röhre und der 5-cm-Röhre die Lichtstärke ungefähr in gleichem Maße zu wie die der Selenzelle direkt zustrahlende Bodenfläche, bei der 2-cm-Röhre aber 2—3mal weniger stark und bei der freiliegenden Selenzelle in noch viel schwächerem Maße. Dem diffusen Seitenlicht kommt also keine große Bedeutung zu.

4. Die Temperaturen

Allgemeines

Zusammenhängende Reihen von Temperaturmessungen innerhalb bestimmter Pflanzengesellschaften wurden in den Sommern 1931 und 1932 ausgeführt mit einer Reihe von festen Stationen. 1931 errichteten wir deren 4, je eine im unteren Seslerietum, auf

der Windecke, im hinteren Nardetum und im vorderen Empetretum. Dazu kam die Station an der Nordwestwand des Alpengartenhauses. Im Sommer 1932 wurde die Zahl der festen Stationen um 2 vermehrt, um eine Station im oberen Seslerietum und eine weitere im vorderen Nardetum, die Mitte August in das hintere Empetretum verlegt wurde. Im Jahre 1931 konnten die Messungen vom 30. VI. bis 30. IX. ausgeführt werden, im Jahre 1932 vom 10. VI. bis 6. X.

Zur Messung gelangten die Bodentemperaturen in 2, 10, 40 cm Tiefe, die Temperaturen an der Bodenoberfläche und die Lufttemperatur ca. 30 cm über dem Boden. Die Erdbodenthermometer der Firma W. Lambrecht in Göttingen, geliefert von Optiker E. F. Büchi in Bern, zeigten sehr genau und erlaubten Ablesungen auf $\frac{1}{10}^{\circ}\text{C}$. Die Thermometer für die verschiedenen Bodentiefen wurden nebeneinander im Abstände von ca. 15 cm schief in der Hangrichtung in den Boden eingesenkt und durch eiserne Halter festgehalten. Auf der Windecke war das Einbringen des Thermometers in 40 cm Bodentiefe infolge der felsigen Beschaffenheit des Untergrundes nicht möglich, so daß wir uns mit den Tiefen von 2 und 10 cm begnügen mußten. In den beiden 1932 neu erstellten Stationen wurden die Thermometer in 40 und 10 cm Bodentiefe weggelassen.

Für die Beobachtung der Temperaturen der Bodenoberfläche und der freien Luft benutzten wir Sixthermometer, geliefert von der Firma O. K i r c h n e r in Bern, die neben den Momentanwerten auch die Maximal- und Minimalwerte der Temperatur geben. Das Thermometer der Bodenoberfläche wurde mit der schmalen Kante auf den Boden gestellt, so daß der die Wärme registrierende Röhrchenteil den Boden berührte oder höchstens einen halben Zentimeter darüber lag. Das Luftthermometer wurde senkrecht gestellt. Beide Thermometer waren in der Richtung des Hanges orientiert, völlig frei zur Sonne. Über die Lage der Stationen vgl. auch S. 221. Die Anordnung der Instrumente (einschließlich des Hygrometers und des Verdunstungsmessers) kann aus den Abbildungen 58—61 ersehen werden.

Diese Thermometer waren also der direkten Einwirkung der Sonnenbestrahlung ausgesetzt. Wir waren uns wohl bewußt, daß dadurch die Messungen mit Unsicherheiten behaftet wurden, die nicht genau abzuschätzen sind. Zum Teil wird der Fehler allerdings dadurch eliminiert, daß überall der gleiche Thermometer-Typ zur Verwendung gelangte, der auf die Einwirkung der Sonne im wesentlichen in gleicher Weise reagieren mußte. Die Werte werden dadurch untereinander vergleichbar, was auch die Ergebnisse zeigten.

Da die Sonnenstrahlung an den verschiedenen Standorten sehr ungleich einwirkt, die lebende Pflanzendecke aber gerade dieser Strahlungswirkung und der damit verbundenen, ungleichen Aufwärmung unterworfen ist, so betrachteten wir es als richtig, die Thermometer der Sonne frei auszusetzen. Die Pflanze reagiert



Abb. 58. Mikroklimatische Meßstation im unteren Seslerietum. Links Sixthermometer und Hygrometer, Mitte die drei Erdbodenthermometer, rechts Atmometer und zu äußerst rechts unten Photometer.

Phot. W. Lüdi, VIII. 1932

individuell auf die Bestrahlung, und wir dürfen die gefundenen Werte nicht etwa als Maß für die Erwärmung des Pflanzenkörpers verwenden, wohl aber als Maß für die Sonnenwirkung, mit der sie sich abfinden muß. Hätten wir die Thermometer in ein Gehäuse eingeschlossen oder sonstwie gegen die Sonne abgeschirmt, so würden wir einen Fehler bekommen haben, der, ökologisch gesehen, viel größer gewesen wäre. Wir wollten Sonnenwerte, nicht Schattenwerte. Allerdings wäre es wohl möglich, einen unseren Zwecken noch besser angepaßten Wärmemesser-Typ zu schaffen; aber wir konnten weitgehende Vorstudien in dieser Richtung nicht ausführen.

Leider sind die Sixthermometer mit bedeutenden Ungenauigkeiten behaftet. Wir suchten sie durch wiederholte Eichung der Thermometer und Korrektur der erhaltenen Ablesungswerte auszugleichen. Eventuell noch unterlaufene Fehler dürften nicht größer als etwa $\frac{1}{2}^{\circ}$ sein. Wahrscheinlich hätten wir überhaupt besser getan, getrennte Maxima- und Minima-Thermometer anzuwenden.

Die Ablesungen führten wir im Jahre 1931 morgens um 7.30 Uhr und mittags um 13.30 Uhr aus, wobei wir an den Sixthermometern neben den Momentanwerten am Morgen noch das Minimum der vergangenen Nacht und am Mittag das Maximum des Tages feststellten, das außerhalb des Bodens sozusagen immer vor Mittag erreicht wird (vgl. die stündl. Ablesungen, z. B. Abb. 68, S. 304). Im Sommer 1932 machten wir nur eine Ablesung zwischen 13 und 14 Uhr. Sie ergab bei den Bodenthermometern den Augenblickswert der Temperatur, der in diesem Zeitpunkt nicht weit vom Tagesmaximum entfernt war und bei den Sixthermometern das Minimum der vergangenen Nacht und das Maximum des laufenden Tages.

Neben diesen Temperaturmessungen mit Thermometern wurden noch Versuche zur Wärmemessung mit Zuckerampullen, nach einer neuartigen, von H. Pallmann und E. Eichenberger ausgearbeiteten Methode, vorgenommen (vgl. darüber S. 317 ff.).

Monatliche Mittelwerte (s. Tab. 66 und 67)

40 cm Bodentiefe: 1931. Die Ablesungen von 7.30 und 13.30 Uhr geben beinahe die gleichen Werte; sie weichen nie mehr als zwei Zehntel-Grad voneinander ab. Im Nardetum ist der Mittagwert im Mittel stets etwas größer als der Morgenwert, im Empetretum gleich oder etwas größer, im Seslerietum gleich oder etwas kleiner. Im Seslerietum und Nardetum ist die Temperatur im Juli am höchsten und fällt im August leicht und weiterhin im September stark ab (ca. 3°). Die Höhe der Temperaturen ist im Mittelwert in beiden Beständen sehr benachbart, im Nardetum um einige Zehntelsgrade höher. Der Boden des Empetretums dagegen erwärmt sich langsam, aber länger dauernd. Er wird im August um nicht ganz einen halben Grad wärmer als im Juli, bleibt aber um $1,5\text{--}2,1^{\circ}$ hinter den beiden andern Böden zurück. Im September ist seine Wärmeabnahme relativ klein, so daß der Unterschied nur noch $1\text{--}1,6^{\circ}$ beträgt.

Im Jahre 1932 ergibt sich eine stärkere Erwärmung der größeren Bodentiefe, in den vergleichbaren Monaten VII./IX. am stärksten im Seslerietum (2°), wesentlich kleiner im Nardetum ($1,5^{\circ}$), unbedeutend im Empetretum ($0,4^{\circ}$). Im Seslerietum und Nardetum steigt die Bodenwärme vom Juni bis in den August an, um im September nur um einige Zehntelsgrade abzufallen. Das Empetretum erreicht seine größte Bodenwärme erst im September. Der höchste Mittelwert findet sich im Seslerietum; im Nardetum ist er um $0,6^{\circ}$, im Empetretum um $3,9^{\circ}$ niedriger. Der Unterschied zwischen den verschiedenen Standorten ist am größten im Juni, wo er zwischen Seslerietum und Empetretum $5,6^{\circ}$ beträgt und nimmt im Laufe des Sommers ab.

18

Alpengarten Schningeplatte: Monatliche Mittelwerte der Temperaturen an verschiedenen Standorten im Jahre 1931. (Im Seslerietum und Empetretum begannen die Messungen in 2 cm Bodentiefe erst am 12. VI.)

Monat	30 cm über dem Boden															
	7 1/2 h				13 1/2 h				Minimum				Maximum			
	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE
Juli	14,6	11,2	11,9	13,0	15,4	12,6	13,4	12,9	4,6	5,3	4,6	3,8	21,5	18,7	19,3	19,9
August	12,9	10,0	11,2	12,3	13,4	10,8	11,7	10,8	3,7	4,4	3,6	3,3	18,9	15,8	16,5	15,9
September	7,4	3,8	4,5	4,1	8,5	4,8	6,5	4,5	-2,3	-1,6	-2,5	-2,6	14,6	10,4	11,7	8,3
Mittel	11,6	8,3	9,2	9,8	12,4	9,4	10,5	9,4	2,0	2,7	1,9	1,5	18,3	15,0	15,8	14,7

Monat	Bodenoberfläche															
	7 1/2 h				13 1/2 h				Minimum				Maximum			
	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE
Juli	16,8	12,7	15,4	13,8	17,6	16,9	18,9	13,0	3,6	4,8	3,6	3,9	27,6	24,4	28,5	19,7
August	14,3	11,3	14,3	12,9	15,4	14,4	16,2	10,6	2,5	3,7	2,7	3,4	23,3	21,2	24,4	16,3
September	9,0	5,4	7,4	2,3	11,5	8,0	10,2	4,4	-0,9	-1,4	-2,3	-1,2	18,5	14,8	17,5	7,2
Mittel	13,4	9,8	12,4	9,7	14,8	13,1	15,1	9,3	1,7	2,4	1,3	2,0	23,1	20,1	23,5	14,4

Monat	2 cm Bodentiefe								10 cm Bodentiefe								40 cm Bodentiefe							
	7 1/2 h				13 1/2 h				7 1/2 h				13 1/2 h				7 1/2 h				13 1/2 h			
	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE	US	W	HN	VE
Juli	11,1	9,3	10,5	9,4	19,9	15,9	17,0	13,2	9,5	9,2	9,1	7,5	11,9	12,1	10,9	9,3	9,7	9,9	7,4	9,7	10,0	7,4		
August	9,9	7,9	9,4	7,5	17,0	12,3	14,8	10,6	8,8	8,4	8,6	7,1	10,6	10,0	9,8	8,2	9,3	9,7	7,7	9,3	9,9	7,8		
Sept.	4,2	2,5	3,9	2,6	10,3	7,4	9,4	4,4	5,2	3,2	4,4	3,4	6,6	4,4	5,2	3,6	6,3	6,6	5,1	6,1	6,7	5,1		
Mittel	8,4	6,6	7,9	6,5	15,7	11,9	13,7	9,4	7,8	6,9	7,4	6,0	9,7	8,8	8,6	7,0	8,4	8,7	6,7	8,4	8,9	6,8		

Es ergibt sich als Gesetzmäßigkeit, daß der Empetretumboden weitaus am kältesten ist, vor allem im Vorsommer, daß er am längsten aufwärmt, bis in den Herbst hinein, aber auch zur Zeit seiner größten Wärme noch bedeutend hinter den andern Standorten zurückbleibt. Im Jahre 1932 ist sein Boden in 40 cm Tiefe im wärmsten Monat, dem September, noch kälter als der Boden der andern Standorte zwei Monate früher. In Monaten mit langen Schönwetterzeiten tritt in größerer Bodentiefe die höchste Erwärmung im Seslerietum ein, sonst im Nardetum.

10 cm Bodentiefe: 1931. In allen Monaten und an allen Stationen ist der Mittagwert höher als der Morgenwert, im Mittel für Seslerietum und Windecke um $1,9^{\circ}$, Nardetum um $1,2^{\circ}$, Empetretum um $1,0^{\circ}$. Der Unterschied ist am stärksten im Juli und verkleinert sich in den verhältnismäßig sonnenarmen Monaten August und September. Vom Juli zum September nimmt die Temperatur in 10 cm Bodentiefe in jedem Monat und in allen Stationen ab, und dies stärker als in 40 cm Bodentiefe. Die Abnahme ist am Morgen kleiner als am Mittag; sie schwankt von $4,1$ — $7,7^{\circ}$. Am stärksten tritt sie an der Windecke in Erscheinung; die übrigen Stationen sind weniger voneinander verschieden. Die geringste Abnahme zeigt der Morgenwert des Empetretums. Das Empetretum ist deutlich am kühnsten, das Seslerietum am wärmsten. Die stärksten Schwankungen finden wir auf der Windecke, deren Wert im Juli um Mittag am höchsten ist und etwas über dem des Seslerietums steht, im September am Morgen aber sogar etwas unter den des Empetretums sinkt.

Im Sommer 1932 steigen in 10 cm Bodentiefe die monatlichen Mitteltemperaturen vom Juni zum August an und sinken im September wieder ab. Anstieg und Abfall sind auf der Windecke am stärksten, die im August einen deutlichen Höchstwert erreicht, aber im Juni hinter Seslerietum und Nardetum und im September hinter dem Seslerietum zurückbleibt. Die Mittelwerte für den ganzen Sommer sind im Seslerietum, in der Windecke und im Nardetum um einige Zehntelsgrade verschieden; das Empetretum erweist sich deutlich als kälter, um $1,6$ — $1,9^{\circ}$.

Der Vergleich der beiden Jahre, 1931 und 1932, zeigt für die vergleichbaren Monate Juli bis September (Mittagsablesung) einen bedeutenden Wärmeüberschuß des Jahres 1932, der $2,6^{\circ}$ (Seslerie-

TABELLE 67

Alpengarten Schinigeplatte: Monatliche Mittelwerte der Temperaturen an verschiedenen Standorten im Jahre 1932 (Juni, vom 10. an, hinteres Nardetum wegen des Schnees erst vom 14. an).

Monat	30 cm über dem Boden													
	Minimum							Maximum						
	US	OS	W	HN	VN	VE	HE	US	OS	W	HN	VN	VE	HE
Juni	1,5	2,2	3,0	2,3	2,0	1,9		18,3	16,4	16,9	16,2	17,0	16,9	
Juli	3,9	4,2	5,5	4,3	4,1	4,2		18,6	17,3	16,8	17,5	17,1	17,5	
August	6,1	6,8	8,2	6,3		6,8		24,6	21,8	22,3	22,0		21,2	
September	4,0	4,8	5,6	4,1		4,9	3,9	22,8	20,8	20,4	20,0		17,1	16,1
Mittel	3,9	4,5	5,6	4,3		4,5		21,1	19,1	19,1	18,9		18,2	
Mittel VII./IX.	4,6	5,2	6,4	4,9		5,3		22,0	19,9	19,8	19,8		18,6	

Monat	Bodenoberfläche													
	Minimum							Maximum						
	US	OS	W	HN	VN	VE	HE	US	OS	W	HN	VN	VE	EH
Juni	1,7	1,8	2,5	1,8	1,1	1,5		26,6	32,2	26,3	20,6	28,4	22,2	
Juli	4,9	4,2	5,3	5,4	4,8	5,1		26,3	31,1	24,5	22,6	25,4	22,8	
August	5,9	5,7	7,5	5,9		6,1		35,9	39,2	35,0	29,2		22,7	
September	4,0	3,9	5,2	3,7		4,4	3,5	35,0	37,6	33,4	25,8		16,0	22,3
Mittel	4,1	3,9	5,1	4,2		4,3		31,0	35,0	29,8	24,6		20,9	
Mittel VII./IX.	4,9	4,6	6,0	5,0		5,2		32,4	35,9	30,9	25,8		20,5	

Monat	2 cm Bodentiefe							10 cm Bodentiefe							40 cm Bodentiefe			
	Minimum							Maximum							Minimum			
	US	OS	W	HN	VN	VE	HE	US	OS	W	HN	VE	US	HN	VE	US	HN	VE
Juni	16,1	10,8	13,6	13,2	13,1	13,5		9,0	8,8	9,2	7,5		6,7	5,2	1,1			
Juli	15,6	12,1	15,2	14,9	14,1	14,9		10,6	10,7	11,7	9,9		8,8	9,2	5,1			
August	20,9	14,5	20,4	16,4		15,9		13,7	14,4	13,0	11,6		11,3	10,9	7,8			
September	20,3	14,1	17,2	13,9		11,5	11,9	12,6	12,2	11,4	9,7		11,1	10,5	8,3			
Mittel	18,2	12,9	16,5	14,6		13,9		11,4	11,6	11,3	9,7		9,5	8,9	5,6			
Mittel VII./IX.	18,9	13,6	17,6	15,1		14,1		12,3	12,4	12,0	10,4		10,4	10,2	7,1			

tum) bis $3,6^{\circ}$ (Windecke) beträgt. Er ist vor allem auf die viel wärmeren Monate August und September zurückzuführen, während der Juli keine wesentlichen Unterschiede aufweist. Das Empetretum besitzt auch in 10 cm Tiefe ausgesprochen den kältesten Boden, während die Windecke sich durch die größten Extreme auszeichnet, wohl als Folge der freien Lage, durch welche die Ausstrahlung und die abkühlende Wirkung des Windes begünstigt werden.

2 cm Bodentiefe: 1931. Auch hier ist der Mittagwert stets höher als der Morgenwert, und zwar ganz bedeutend, im Mittel im Seslerietum $7,3^{\circ}$, auf der Windecke $5,3^{\circ}$, im Nardetum $5,8^{\circ}$, im Empetretum $2,9^{\circ}$. Die mittägliche Aufwärmung ist also im Seslerietum am größten und im Empetretum ziemlich klein. Im Juli ist sie am bedeutendsten, im August etwas kleiner, im September am kleinsten, was der Dauer der täglichen Besonnung parallel geht. Vom Juli zum August nimmt die Temperatur an allen Stationen nur wenig ab, vom August zum September bedeutend stärker, so daß die Morgentemperatur in 2 cm Bodentiefe im September niedriger steht als in 10 cm Tiefe.

Die höchsten Temperaturwerte gibt stets das Seslerietum; dann folgen in absteigender Reihe das Nardetum, die Windecke, das Empetretum. Am Morgen ist der Temperaturunterschied der verschiedenen Stationen ziemlich klein; die mittlere Differenz der entferntest stehenden Stationen, Seslerietum/Empetretum, beträgt $1,9^{\circ}$, Seslerietum/Windecke $1,8^{\circ}$, Seslerietum/Nardetum $0,5^{\circ}$; bis Mittag steigt die mittlere Differenz an, zwischen Seslerietum/Empetretum auf $6,3^{\circ}$.

Im Sommer 1932 hat sich die Zahl der Stationen zur Messung der Temperatur in 2 cm Bodentiefe auf 6 erhöht, und es wird der Vergleich zwischen dem unteren und dem oberen Seslerietum, dem vorderen und hinteren Nardetum, dem vorderen und hinteren Empetretum möglich. Das vordere Nardetum, für das Messungen von zwei ganzen Monaten vorliegen, zeigt sich etwas kühler als das hintere Nardetum, das hintere Empetretum als etwas wärmer als das vordere (September). Doch sind diese Unterschiede nur gering. Viel größer sind sie zwischen dem unteren und dem oberen Seslerietum: das untere Seslerietum ist in jedem Monat in 2 cm Bodentiefe die wärmste Station, das obere Seslerietum, mit Aus-

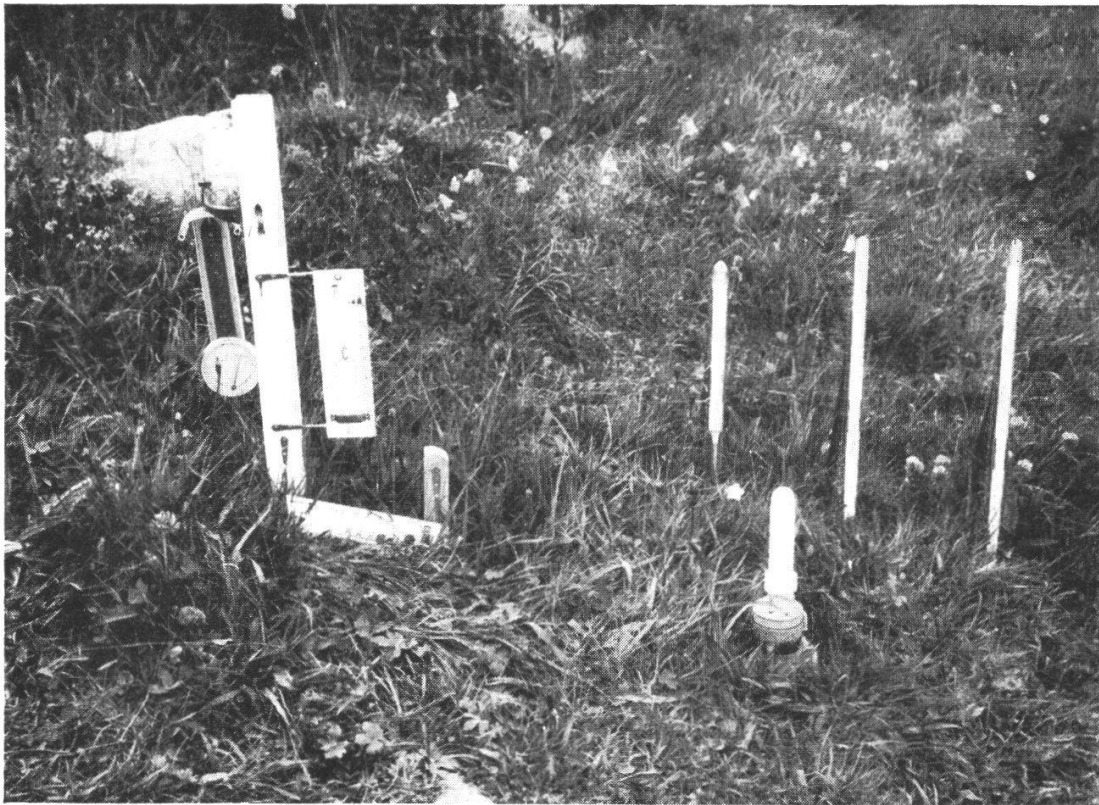


Abb. 59. Mikroklimatische Station im hinteren Nardetum.

Phot. W. Lüdi, VIII. 1932

nahme des Septembers, wo das Empetretum tiefer liegt, die kälteste. Der Unterschied beträgt im Mittel der Monate $5,3^{\circ}$, steigt im August und September auf über 6° und sinkt nur im Juli, der eine verhältnismäßig ungünstige Wetterlage aufwies, tiefer ab ($3,5^{\circ}$). In diesem Monat verzeichnet das untere Seslerietum in dem Temperaturwert einen kleinen Rückschlag, während alle übrigen Stationen gegenüber dem Juni ein, wenn auch bescheidenes, Ansteigen ergeben. Im September fallen die Temperaturen in allen Stationen ab, im Seslerietum nur sehr wenig, im Empetretum und auf der Windecke über 3° , im hinteren Nardetum $2,5^{\circ}$.

Im Vergleich zum Vorjahr sind die Temperaturen in 2 cm Bodentiefe im Mittel wesentlich höher: $3,2^{\circ}$ im Seslerietum, $5,7^{\circ}$ auf der Windecke, $1,4^{\circ}$ im Nardetum, $4,7^{\circ}$ im Empetretum. Die genauere Analyse zeigt aber, daß sich die einzelnen Monate sehr ungleich verhalten: der Juli ist im Jahre 1932 wesentlich kühler, nur im Empetretum etwas wärmer; dagegen sind der August und

noch mehr der September im Jahre 1932 viel wärmer. Der Unterschied erreicht im September für das Seslerietum und die Windecke 10° , während er bei Nardetum und Empetretum weniger hervortritt.

Bodenoberfläche: 1931. Temperaturen um 7.30 und 13.30 Uhr. In bezug auf das Verhältnis der Morgen- und Mittagstemperatur verhalten sich die Stationen verschieden. Im Empetretum ist das Temperaturmittel mittags niedriger als morgens, was im besonderen für die Monate Juli und August gilt, während im September, bei Durchschnittswerten, die sich dem Nullpunkte nähern, doch der Mittag annähernd doppelt so hoch über dem Nullpunkt steht als der Morgen. Wir erkennen hier den Einfluß der Morgenbesonnung, die zur Zeit der längeren Tage durch direkte Besonnung frühzeitig stark aufwärmt, im Herbst dagegen nur noch schwach in Erscheinung tritt, so daß sich die tägliche, allgemeine Aufwärmung der Luft um die Mittagszeit geltend macht. Um Mittag geht an diesen Nordosthängen auch während der langen Tage die Besonnung ihrem Ende entgegen, und die Temperatur nimmt bereits wieder ab. An den übrigen Stationen sind die Mittelwerte des Mittags in jedem Monat höher als die des Morgens, in zunehmendem Maße vom Seslerietum über das Nardetum zur Windecke. Auch darin spiegelt sich der Einfluß der Besonnungsdauer. Die Unterschiede sind gar nicht unbedeutend ($1,4-3,3^{\circ}$). Der Vergleich der einzelnen Monate ergibt einen kleinen Abfall vom Juli zum August und einen sehr starken vom August zum September. Dieser ist in der Morgenmessung weitaus am größten im Empetretum, während sich die übrigen Stationen annähernd gleich verhalten. Die Temperatur ist im Mittel am Morgen im Seslerietum ca. $3,5^{\circ}$ und im Nardetum ca. $2,5^{\circ}$ höher als an der Windecke und im Empetretum; am Mittag dagegen ist die Windecke durch die bei höherem Sonnenstand stärker werdende Insolation in den Größenbereich des Seslerietums und des Nardetums gerückt; das Empetretum bleibt um $3,8^{\circ}$ hinter ihr zurück und hinter dem Nardetum, das die Spitze innehält, sogar um $5,8^{\circ}$.

Interessant ist der Vergleich der Temperaturen an der Bodenoberfläche mit denen in 2 cm Bodentiefe: erstere sind am Morgen, mit Ausnahme des Septemberwertes des Empetretums, wesentlich höher. Um Mittag sind die Unterschiede gering, und im Seslerie-

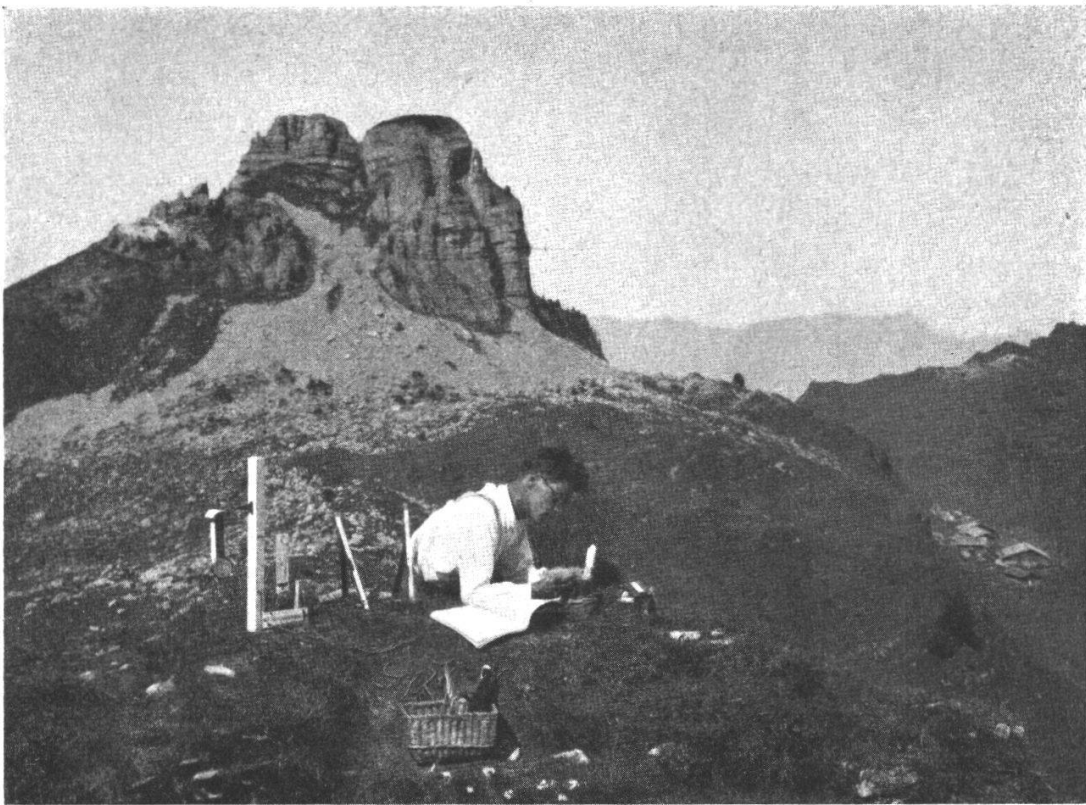


Abb. 60. Mikroklimatische Station auf der Windecke. Im Hintergrund das Oberberghorn. Phot. W. Lüdi, VIII. 1932

tum ist der Boden in 2 cm Tiefe sogar etwas wärmer. Die Aufwärmung erfaßt am Morgen rasch die Oberfläche und dringt dann in den Boden ein, so daß bis Mittag die Erwärmung der obersten 2 cm ziemlich gleichmäßig wird.

Mittlere Maxima und Minima. 1931. Hier ergeben sich viel größere Ausschläge als in den Terminwerten, da morgens um 7.30 Uhr das Minimum der Nacht und mittags um 13.30 Uhr das Maximum des Tages an den Beobachtungspunkten längst vorbei ist. Im mittleren Maximum stehen Nardetum und Seslerietum $8,4$, resp. $8,3^{\circ}$ über dem Mittagswert, die Windecke $7,0^{\circ}$, das Empetretum $5,1^{\circ}$. Die Maxima erreichen ganz beträchtliche Höhen. Von den drei Beobachtungsmonaten weist der Juli die höchsten mittleren Maxima auf, und die Abnahme zum August ist schwächer als vom August zum September. Die Abnahme vom Juli zum September ist am stärksten im Empetretum ($12,5^{\circ}$), am schwächsten im Seslerietum ($9,1^{\circ}$). Die mittleren Werte sind am

höchsten und unter sich beinahe gleich im Nardetum und Seslerietum; auf der Windecke sind sie ca. 3° niedriger, im Empetretum ca. 9° niedriger.

Die Minimumwerte sind im Sommermittel niedrig, aber für die verschiedenen Stationen nur wenig verschieden ($1,3$ — $2,4^{\circ}$), am höchsten auf der Windecke, am niedrigsten im Nardetum. Auch die Monatswerte sind niedrig; keiner erreicht 5° . Sie fallen vom Juli zum August nur wenig ($0,5$ — $1,1^{\circ}$), vom August zum September bedeutend stärker ($3,4$ — $5,1^{\circ}$) ab. Den höchsten Wert erreicht die Windecke im Juli mit $4,8^{\circ}$. Die Septemberminima bleiben alle unter null Grad und sind im Nardetum am tiefsten, im Seslerietum am höchsten. Bemerkenswert ist das verhältnismäßig hohe Minimum im Empetretum. Im Durchschnitt des Sommers und ebenso in den Monaten Juli und August folgt es unmittelbar nach der Windecke; im September steht seine Minimumtemperatur nur wenig unter der des Seslerietums. Es ergibt sich deutlich, daß das Minimum in enger Verbindung mit dem nächtlichen Abfluß der sich abkühlenden Luft steht. Auf schmalem Berggrat (Windecke) bleibt die nächtliche Temperatur an der Bodenoberfläche am höchsten; Mulden und Treppenhänge sind in der Nacht deutlich kühler, aber unter sich nur wenig verschieden.

Die Differenz zwischen dem mittleren Maximum und dem mittleren Minimum beträgt im Nardetum $22,2^{\circ}$, im Seslerietum $21,4^{\circ}$, auf der Windecke $17,7^{\circ}$, im Empetretum $12,4^{\circ}$. Die Stationen mit dem niedrigsten Maximum haben auch die höchsten Minima und die kleinsten Amplituden.

Im Jahre 1932 wurden an der Bodenoberfläche nur die Maximum- und Minimum-Temperaturen abgelesen. Der ganz andere Witterungsverlauf macht sich auch hier geltend. Die Maximumwerte sind im Juli und Juni (vom 10. an) nur wenig verschieden; der Juli ist sogar etwas kälter, mit Ausnahme des hinteren Nardetums und des vorderen Empetretums. Der August dagegen steigt stark an, und der September fällt nur wenig ab, bleibt im unteren Seslerietum sogar auf dem Niveau des Augusts. Eine Ausnahme bildet das vordere Empetretum, dessen Temperaturmaxima den Anstieg im August überhaupt nicht mitmachen und im September ca. 10° niedriger sind als das nächst kälteste hintere Nardetum, $17,4$ — $21,6^{\circ}$ kälter als die übrigen Stationen. Im Mittelwert des

ganzen Sommers gibt sich eine abfallende Reihe vom oberen Seslerietum über das untere Seslerietum, die Windecke, das hintere Nardetum zum Empetretum. Die Spanne zwischen den Enden dieser Reihe erreicht $14,1^{\circ}$. In den Monaten Juni und Juli mit vorwiegend ungünstiger Witterung war das hintere Nardetum in den Maximalwerten am tiefsten, übertraf aber in den beiden folgenden Monaten das Empetretum, bei dem sich der Strahlungsrückgang stark fühlbar machte, bedeutend. In auffallender Weise ist das Temperaturmaximum im vorderen Nardetum viel höher als im hinteren. Das dürfte der etwas günstigeren Sonnenlage, vielleicht teilweise auch lokalen Luftströmungen zu verdanken sein. Zwischen der Temperatur an der Bodenoberfläche und in 2 cm Bodentiefe findet sich hier keine Parallelität, eine Erscheinung, die im oberen Seslerietum noch viel stärker hervortritt. Im September zeigt sich das hintere Empetretum an der Bodenoberfläche beträchtlich wärmer als das vordere; wir müssen dahingestellt lassen, ob sich diese Erscheinung auf die ganze Vegetationsperiode erstreckt. Zur Erklärung käme auch die Windwirkung in Betracht.

Die Minimumwerte zeigen übereinstimmend einen Anstieg vom Juni zum August und einen Abfall im September. Immerhin ist dieser nicht stark, und die Septemberwerte stehen durchwegs wesentlich höher als die Juniwerte. Mittelwerte unter null Grad werden nicht erreicht. Am wärmsten zeigt sich in den Minimalwerten wiederum die Windecke; die übrigen Stationen weichen nur um einige Zehntelsgrade voneinander ab. Auffallend ist im vorderen Nardetum für den Monat Juni die Verbindung des niedrigsten Minimumwertes mit einem hohen Maximumwert.

Die Amplitude zwischen den mittleren Maximum- und den mittleren Minimumwerten stellt sich wie folgt: oberes Seslerietum $31,1^{\circ}$, unteres Seslerietum $26,9^{\circ}$, Windecke $24,7^{\circ}$, hinteres Nardetum $20,4^{\circ}$, vorderes Empetretum $16,6^{\circ}$. Sie ordnen sich also nach der Höhe der maximalen Aufwärmung.

Der Vergleich der Jahre 1931 und 1932 ergibt für das Jahr 1932 bedeutend höhere Temperaturmaxima und kleinere Minima. Das gilt namentlich für den September, dessen mittlere Extremtemperaturen im Jahre 1932 gegenüber dem Vorjahre um folgende Beträge höher stehen:

	Maxima	Minima
Unteres Seslerietum	16,5°	4,9°
Windecke	18,6°	6,6°
Hinteres Nardetum	8,3°	6,0°
Vorderes Empetretum	8,8°	5,6°

Das sind, gemessen an den Absolutwerten, ganz außerordentlich hohe Differenzen, die sich für das Pflanzenwachstum sehr stark geltend machen müssen, vor allem die Minimumwerte, die ganz aus dem Gebiete der Fröste herausrücken.

30 cm über dem Boden (abgekürzt = Lufttemperatur): 1931. Temperaturen um 7.30 und 11.30 Uhr. Morgen- und Mittagsablesung sind in den Mittelwerten nur wenig verschieden, am Mittag in Seslerietum, Windecke und Nardetum um 0,8—1,3° höher, im Empetretum um 0,4° tiefer als am Morgen. Auch in der Lufttemperatur liegt zur Zeit der Morgenablesung das nächtliche Minimum bereits weit zurück, und ebenso das Tagesmaximum zur Zeit der Mittagsablesung.

Die monatlichen Mitteltemperaturen stehen am höchsten im Juli und fallen gegen den August hin schwach und gegen den September hin stark ab. In den mittleren Lufttemperaturen weichen die einzelnen Stationen bis auf etwa 3° voneinander ab, was immerhin einem Höhenunterschied von rund 600 m entspricht. Am wärmsten ist jeweilen das Seslerietum, am kältesten morgens die Windecke, mittags Windecke und Empetretum mit gleichen Werten. Das Empetretum stellt sich also in bezug auf die Lufttemperatur verhältnismäßig günstig.

Mittlere Maxima und Minima. Diese ergeben den gleichen Gang der einzelnen Monate wie die Terminablesungen. In dem mittleren Maximum für den ganzen Sommer ist das Seslerietum am wärmsten, das Empetretum am kältesten, wobei die Differenz 3,6° beträgt. Die Windecke ist nur um 0,3° wärmer als das Empetretum, das Nardetum um 1,1°. Im Juli folgt das Empetretum sogar direkt nach dem Seslerietum, und noch im August steht seine mittlere Maximumtemperatur so hoch wie die der Windecke. Die Maximumtemperaturen sind also in der freien Luft, verglichen mit der Bodenoberfläche, zwischen den verschiedenen Stationen verhältnismäßig gut ausgeglichen. Das gilt auch für die Minimumtemperaturen. Hier ist in jedem Monat die Windecke am wärmsten, das Empetretum am kältesten. Aber die mittlere Differenz

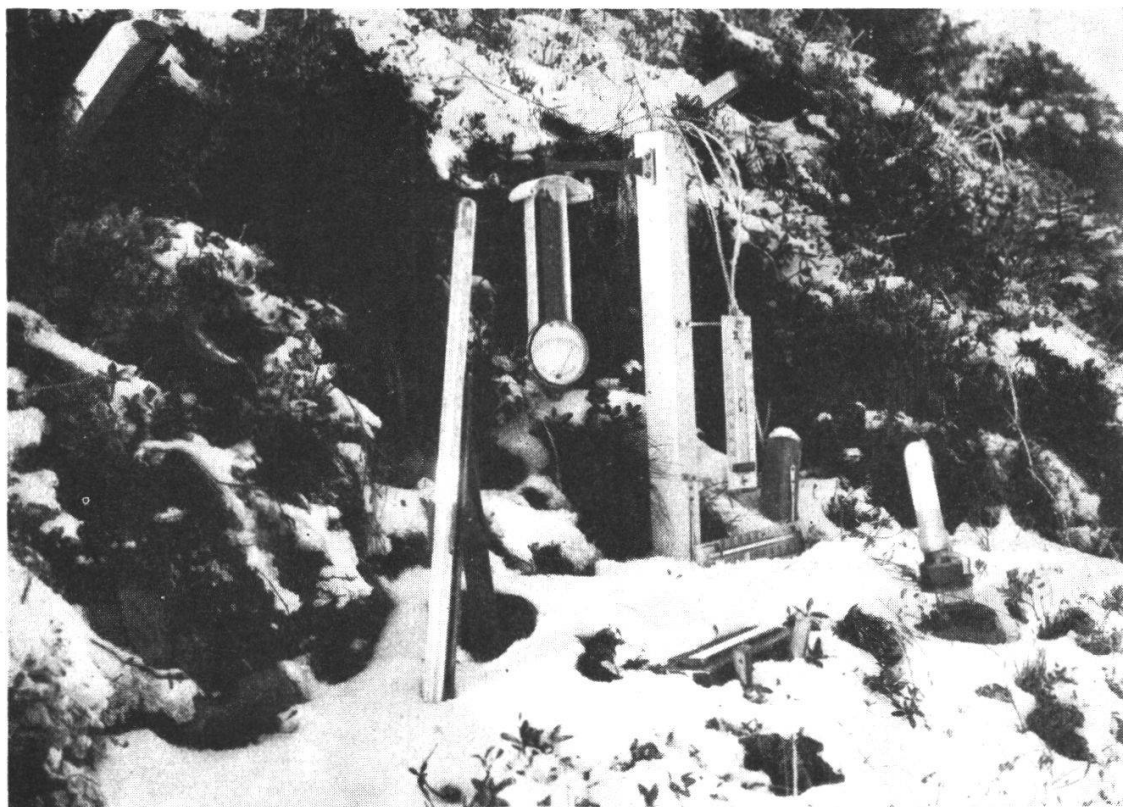


Abb. 61. Mikroklimatische Station im hinteren Empetretum im Neuschnee.
Phot. W. Lüdi, X. 1932

beträgt nur $1,2^{\circ}$. Das mittlere Septemberminimum ist etwas kleiner als auf der Bodenoberfläche: Seslerietum und Empetretum sind an der freien Luft um $1,4^{\circ}$ kälter, während für Windecke und Nardetum der Unterschied nur $0,2^{\circ}$ beträgt.

Vom Jahre 1932 besitzen wir auch von der Lufttemperatur nur die Maximum- und Minimumwerte. Die mittleren Maxima steigen vom Juni zum Juli leicht an (nur auf der Windecke und im vorderen Nardetum bleiben sie stationär), erreichen im August bei stärkerem Anstieg das Maximum und fallen im September wieder leicht ab. Im Mittelwert des ganzen Sommers ist das untere Seslerietum am wärmsten, das Empetretum am kältesten, mit einer Differenz von $3,4^{\circ}$. Oberes Seslerietum, Windecke und hinteres Nardetum stehen mit den gleichen Temperaturen ziemlich genau in der Mitte. In den einzelnen Monaten erhält das untere Seslerietum immer die Höchstwerte; aber die Stellung der übrigen Stationen verschiebt sich ein wenig, indem das vordere Empetretum

nur im August und September den niedrigsten Maximumwert aufzeigt, im Juni aber das hintere Nardetum, im Juli die Windecke an seine Stelle rücken. Doch sind die Unterschiede in diesen Monaten so klein, daß sie für alle Stationen mit Ausschluß des unteren Seslerietums unter einem Grad bleiben. Auffallend verhält sich im September das hintere Empetretum, das in der freien Luft um einen Grad kühler ist als das vordere Empetretum, an der Bodenoberfläche dagegen wesentlich wärmer.

In den mittleren Minimumtemperaturen stellen wir für alle Stationen ein Ansteigen vom Juni zum August fest und dann ein Abfallen zum September. Doch halten sich die Veränderungen innerhalb enger Grenzen. Den stärksten Anstieg ($5,2^{\circ}$) und Abfall ($2,6^{\circ}$) finden wir auf der Windecke. Auch die Temperaturunterschiede zwischen den verschiedenen Stationen sind nicht groß. Am wärmsten ist die Windecke, am kühlgsten das untere Seslerietum. Das gilt für alle Monate mit einer mittleren Differenz von $1,7^{\circ}$ und einer maximalen (August) von $2,1^{\circ}$. Das vordere Nardetum zeigt in den Monaten Juni und Juli gegenüber dem hinteren Nardetum in den mittleren Maxima und Minima nur unwesentliche Unterschiede. Das hintere Empetretum ist im September im mittleren Minimum und im Maximum um 1° kälter als das vordere.

Der Vergleich der Jahre 1931 und 1932 ergibt die bereits für die Temperaturen der Bodenoberfläche festgestellten Gesetzmäßigkeiten. Die Temperaturen des Sommers 1932 stehen bedeutend höher, am stärksten für den September, wo sich folgende Mehrwerte ergeben:

	Maxima	Minima
Unteres Seslerietum	$8,2^{\circ}$	$6,3^{\circ}$
Windecke	$10,0^{\circ}$	$7,2^{\circ}$
Hinteres Nardetum	$8,3^{\circ}$	$6,6^{\circ}$
Vorderes Empetretum	$8,8^{\circ}$	$7,5^{\circ}$

Zwischen den einzelnen Stationen sind die Unterschiede nicht groß; ihre Reaktion ist ziemlich gleichartig. Sie schließen sich an die für die Bodenoberfläche gefundenen Differenzen eng an, mit Ausnahme von Seslerietum und Windecke, wo der Strahlungseffekt an der Bodenoberfläche viel größere Maximaltemperaturen schafft.

Überblick über die monatlichen Mittelwerte der Temperaturen. Wie wir bereits von der Besprechung des allgemeinen Klimaverlaufes her wissen, sind die beiden Beobachtungsjahre 1931 und 1932 während der Sommermonate klimatisch sehr verschieden gewesen. Das prägt sich auch in den Wärmeverhältnissen der Kleinklimate aus. Im Jahre 1931 war der September ganz abnorm kalt, während im Jahre 1932 der Juli zwar merklich kälter war als im Vorjahre, der August und vor allem der September dagegen sich durch ein warmes Strahlungswetter auszeichneten. Der kalte Hochsommer und Herbst bewirkten für den Sommer 1931 ein ausgesprochenes Wärmedefizit, das in allen Lokalstationen im Boden und in der freien Luft zum Ausdruck kommt. Die mittleren Temperaturen für die Monate Juli bis September liegen im Jahre 1932 um folgende Beträge höher:

		Kleinste Diff.	Größte Diff.
40 cm Bodentiefe:	0,3— 2,0°	Empetretum	Seslerietum
10 cm Bodentiefe:	2,6— 3,6°	Seslerietum	Windecke
2 cm Bodentiefe:	1,4— 5,7°	Nardetum	Windecke
Bodenoberfläche, mittl. min.	3,2— 3,7°	Sesler. u. Emp.	Nardetum
Bodenoberfläche, mittl. max.	2,3—10,8°	Nardetum	Windecke
Luft, 30 cm, mittl. min.	2,6— 3,8°	Seslerietum	Empetretum
Luft, 30 cm, mittl. max.	3,7— 4,8°	Seslerietum	Windecke

Im September 1931 sind die mittleren Minimumtemperaturen besonders ungünstig. Sie liegen auf der Bodenoberfläche und an der freien Luft durchwegs unter dem Gefrierpunkt ($-0,9$ bis $-2,6^{\circ}$), während sie im September 1932 um $3,5$ bis $5,6^{\circ}$ darüber liegen.

Innerhalb jeder Station zeigen die Temperaturen von 40 cm Bodentiefe bis in die freie Luft große und gesetzmäßige Unterschiede. 40 cm Bodentiefe ist charakterisiert durch niedrige, konstante Temperaturen. Änderungen im Witterungscharakter, welche die Lufttemperaturen stark beeinflussen, wirken sich sehr abgeschwächt und verlangsamt aus. Die sommerliche Aufwärmung erfolgt langsam. Im Jahre 1932 wurde das Maximum der Wärme teilweise erst im September erreicht (vorderes Empetretum).

In 10 cm Bodentiefe sind die Temperaturschwankungen bereits wesentlich größer. Regelmäßig erfolgt vom Morgen bis zum Nachmittag eine bedeutende Aufwärmung und daraufhin über Nacht

eine entsprechende Abkühlung. Die Morgenwerte liegen etwas tiefer als in 40 cm Bodentiefe (nur 1931 gemessen). Die Mittagswerte sind 1931 in 40 cm und 10 cm Bodentiefe nur wenig verschieden ($0,2-1,3^{\circ}$), im Jahre 1932 in 10 cm Tiefe deutlich höher ($1,8-3,3^{\circ}$).

Durch noch stärkere Schwankungen innerhalb des Tages hebt sich die Bodentiefe von 2 cm ab. Im Jahre 1931 erreichen sie im Mittel von der Morgen- zur Mittagsablesung für die verschiedenen Stationen $2,9-7,3^{\circ}$. Am Morgen steht die Temperatur nahe derjenigen in 40 cm Bodentiefe oder sogar etwas darunter, am Mittag bedeutend darüber. Der Unterschied kann bis $8,5^{\circ}$ betragen.

Für die Bodenoberfläche ergeben die Terminablesungen des Jahres 1931 zwischen Morgen und Mittag nur kleine mittlere Temperaturunterschiede, bei Wärmegraden, die denen der Mittagsablesung in 2 cm Bodentiefe nahestehen. Aber über die wirklichen Extreme der Temperatur außerhalb des Bodens geben die Terminablesungen nicht genügend Auskunft, da das nächtliche Minimum zur Zeit der Morgenablesung und das mittägliche Maximum zur Zeit der Mittagsablesung bereits weit zurückliegen. Im Gegensatz zu den Bodentemperaturen, wo sich die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur und die Wirkung der Sonnenstrahlung nur verlangsamt und geschwächt fühlbar machen, treten sie an der Bodenoberfläche sehr rasch und mit größter Stärke auf. So finden wir dort die niedrigsten Minima und weitaus die höchsten Maxima, also die größte Temperaturamplitude der mittleren täglichen Schwankungen, die je nach der Station sich zwischen $12,4-31,5^{\circ}$ hält. Verglichen mit der Bodentiefe von 2 cm, wo wir auch bereits beträchtliche Tagesschwankungen festgestellt haben, sind die mittleren Minimum-Werte auf der Bodenoberfläche bedeutend niedriger, die mittleren Maximum-Werte viel größer. Wir haben zwar für die längeren Zeiträume keine direkt vergleichbaren Zahlenwerte, da im Boden nur die Terminablesungen ausgeführt wurden. Da aber infolge des Nachhinkens der Bodentemperaturen, wie die stündlichen Messungen ergeben haben (vgl. S. 314), unsere Terminablesungen im Boden nicht weit von den Minimum- und Maximumwerten des Tages entfernt sind, so können wir zwecks der Feststellung der maximalen Temperaturschwankungen das Minimum an der Bodenoberfläche mit der Terminablesung von $7\frac{1}{2}$ der

Bodenthermometer (1931) und das Maximum an der Bodenoberfläche mit der Terminablesung von $13\frac{1}{2}$ der Bodenthermometer (1931, 1932) vergleichen. Die mittleren Temperaturminima waren also im Jahre 1931 auf der Bodenoberfläche je nach der Station um $4,2\text{--}6,7^\circ$ niedriger, die mittleren Temperaturmaxima 1931 um $5,0\text{--}9,8^\circ$ und 1932 um $7,0\text{--}22,1^\circ$ höher als die entsprechenden Temperaturen in 2 cm Bodentiefe.

In der freien Luft, 25—30 cm über der Bodenoberfläche, werden die Temperaturschwankungen wieder kleiner, indem die Maxima bedeutend abnehmen, während die Minima ungefähr gleich bleiben wie an der Bodenoberfläche. Verglichen mit der Bodenoberfläche waren im Jahre 1931 die mittleren Maxima um $4,8\text{--}7,7^\circ$ kleiner, im Jahre 1932 um $2,7\text{--}15,9^\circ$, die mittleren Minima in beiden Jahren um $0,1\text{--}0,6^\circ$ höher. Eine besondere Stellung nahm im Jahre 1931 das vordere Empetretum ein, in dem die Lufttemperatur im mittleren Maximum um $0,3^\circ$ höher, im mittleren Minimum um $0,5^\circ$ tiefer lag als die Temperatur der Bodenoberfläche. Im Jahre 1932 war zwar im Empetretum die Maximumtemperatur der Bodenoberfläche auch höher als 30 cm über dem Boden; aber die Differenz ist auffallend gering ($2,7^\circ$). Dies mag daher kommen, daß im Empetretum die Bodenoberfläche im Schatten der Gehängestufen steht und weniger lang von der Sonne beschienen wird als das 30 cm höher, in der freien Luft hängende Thermometer. Während die höhern mittleren Maximumwerte der Bodenoberfläche, mit Ausnahme zweier Monate des Empetretums, sich in allen Stationen und Monaten wiederfinden, verhalten sich die einzelnen Monate in den Minimalwerten sehr ungleich; bald ist die Bodenoberfläche, bald die freie Luft in der Nacht der stärkeren Abkühlung ausgesetzt. Zur Zeit der tiefsten Minima, im September 1931, war aber an allen Stationen die Luft etwas kälter.

Zum Vergleiche der Temperaturen in verschiedenen Bodenhöhen haben wir die mittleren Werte für alle Stationen zusammengerechnet und in Tabelle 68 wiedergegeben.

Unsere Zusammenstellung zeigt, wie die Temperaturen im Mittel aller Messungen an der Bodenoberfläche am höchsten sind und von da an gegen die freie Luft und in die Tiefe des Bodens abnehmen. Nur das Minimum ist gegen die freie Luft hin um ein

TABELLE 68

Mittlere Temperaturwerte der Jahre 1931 und 1932 im Alpengarten,
in verschiedenen Bodenhöhen, aus allen Stationen vereinigt.

Zeit und Art der Messung	40 cm Boden	10 cm Boden	2 cm Boden	Boden- oberfl.	30 cm Luft
1931 Ablesung 7.30 Uhr	7,9	7,2	7,4	11,3	9,7
Boden: Ablesung 13.30 Uhr	8,1	8,5	12,7	20,3	16,0
Oberfl. u. Luft: mittl. Maximum					
Mittleres Minimum				1,9	2,3
1932 Boden: Ablesung 13.30 Uhr	8,0	11,0	15,2	28,2	19,3
Oberfl. u. Luft: mittl. Maximum					
Mittleres Minimum				4,3	4,6

weniges höher als an der Bodenoberfläche. Innerhalb des Bodens nehmen die Minimumwerte (= Morgenwerte von 1931) bis in 10 cm ab und dann bis mindestens 40 cm Tiefe wieder zu. Aber die tägliche Aufwärmung wird mit der größeren Bodentiefe so beträchtlich kleiner, daß Maximum und Minimum in 40 cm Tiefe beinahe gleich sind und insgesamt bis in 10 cm Tiefe eine merkliche Abkühlung eintritt, die dann bis in 40 cm Tiefe durch eine relative Stabilität abgelöst wird. Leider sind unsere Messungen zur Errechnung solcher Mittelwerte nicht sehr geeignet; aber diese Gesetzmäßigkeiten treten trotzdem klar hervor.

Wir können aus obenstehender Tabelle 68 außerdem nochmals ansehen, wie verschieden die mittleren Temperaturen im Gebiete der Schinigeplatte je nach dem Witterungscharakter der einzelnen Jahre sein können. Die Temperaturunterschiede machen sich vor allem in den Maximumwerten geltend, weniger in den Minimumwerten, und nehmen mit steigender Bodentiefe ab. In 2 cm und 10 cm Bodentiefe beträgt der mittlere Temperaturunterschied zwischen den beiden Beobachtungsjahren für die Mittagsablesung übereinstimmend 2,5°. In 40 cm Bodentiefe verschwindet der Unterschied, resp. das kältere Jahr gibt, wohl infolge des wärmeren Vorsommers, einen um 0,1° höheren Wert.

Ähnliche Messungen wie die unsrigen wurden bereits in den Jahren 1905/06 von Eduard Rübel auf Berninahospiz (2300 m) ausgeführt, wobei er auch größere Bodentiefen (bis 120 cm) beizog und während des ganzen Jahres beobachtete. Er fand die gleichen Gesetzmäßigkeiten in der Temperaturverteilung auf die verschiedenen Niveaus, ebenso die jahreszeitliche Verspätung der maximalen Erwärmung in zunehmender Bodentiefe. Dagegen erschienen die von ihm auf dem Berninapaß (2313 m) festgestellten Temperaturschwankungen in 30 cm Bodentiefe ganz bedeutend größer als sie sich auf Schinigeplatte in 40 cm Tiefe ergaben. Sie nähern sich bereits

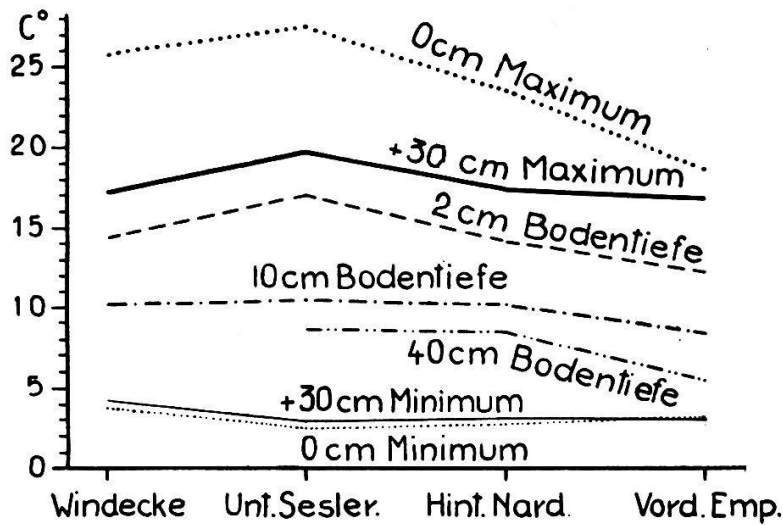


Abb. 62. Mittlere Temperaturwerte der beiden Beobachtungsperioden Sommer 1931 und 1932 in den verschiedenen Pflanzengesellschaften.

unseren 10-cm-Temperaturen. Das mag davon herrühren, daß Rübel die Thermometer, die in einen festen Kasten eingebaut waren, zu den Messungen jeweils herausnehmen mußte.

Unsere Temperaturmessungen ergeben für das Gebiet des Alpengartens eine bedeutende Vielgestaltigkeit. Die Temperaturmittel der beiden Beobachtungsjahre, die wir in Abbildung 62 für die verschiedenen Stationen zusammengestellt haben, weisen wesentliche Unterschiede auf. Ausgesprochen am ungünstigsten steht das Empetretum da, vor allem im September, als Folge der in dieser Jahreszeit nur kurz dauernden und schwachen Bestrahlung. Unsere Empetretum-Lokalitäten sind auf die morgendliche und vormittägige Bestrahlung angewiesen. Sie stellen sich deshalb zur Zeit der langen Tage verhältnismäßig günstig. Die niedrig stehende Morgensonne trifft die steilen Hänge unter rechtem Winkel und wärmt sie rasch auf, besonders an der Bodenoberfläche. Aber bald nimmt die Temperatur auch wieder ab, so daß sie auch im monatlichen Mittelwert morgens um 7.30 Uhr höher sein kann als mittags um 13.30 Uhr (Bodenoberfläche und Luft VII. und VIII. 1931), während sie in den oberen Bodenschichten noch zunimmt. Die größeren Bodentiefen sind an diesen Lokalisationen ausgesprochen kühl und wärmen länger auf als an den anderen Stationen, im Jahre 1932 noch während des Septembers.

Die übrigen Stationen stehen einander in ihren Temperaturen näher. Die höchste Aufwärmung findet in der Regel im unteren

Seslerietum statt, teilweise im Nardetum, ganz vereinzelt auch an der Windecke. Die Reihenfolge der Stationen ist aber nach den Monaten, den Jahren und nach der Lage über oder unter dem Boden verschieden. Eigenartig verhält sich das obere Seslerietum, in dem Messungen nur im Jahre 1932 ausgeführt worden sind. Es zeigt die höchsten Maximum-Temperaturen der Bodenoberfläche (im Mittel 4° höher als das untere Seslerietum). Diese sehr starke, oberflächliche Aufwärmung geht aber nicht tief und verschwindet sehr rasch und völlig; denn diese Station hat an der Bodenoberfläche das niedrigste mittlere Minimum und ist auch in 2 cm Bodentiefe kälter als alle übrigen Stationen. Nur in bezug auf die Temperaturen in 30 cm Höhe über der Bodenoberfläche steht diese Station günstiger da, und es ist anzunehmen, daß die ungewöhnlich starke Temperaturerniedrigung der Bodenoberfläche und der oberen Bodenschichten mit der etwas felsigen Bodenbeschaffenheit zusammenhängt, welche die abkühlende Wirkung des Windes, der immer um diese Kuppe streicht, voll zur Wirkung kommen läßt. Die sogenannte Windecke, die, wie wir sehen werden, die größte Windstärke aufweist, zeigt neben mittleren Maximalwerten stets die wärmsten Minima, wohl als Folge der lange dauernden, täglichen Sonnenstrahlung und des leichten Abflusses der Kaltluft.

Die fünftägigen Mittelwerte der Temperatur

Die fünftägigen Perioden der Temperaturen geben bereits einen tieferen Einblick in den Temperaturverlauf als die monatlichen Mittelwerte, da in ihnen die Gutwetter- und Schlechtwetterzeiten zum Ausdruck kommen. Wir haben diesen Wetterverlauf in Kurvenbildern aufgezeichnet (Abb. 63—65) und beschränken uns in den Erklärungen auf das Hauptsächlichste.

Bodentemperaturen 1931 (Abb. 63 und 64). Die Variationen der Temperaturen sind innerhalb des Bodens verhältnismäßig gering, am kleinsten in 40 cm Bodentiefe. Dort prägen sich die Gutwetter- und Schlechtwetterperioden nur schwach aus, in 10 cm Bodentiefe schon stärker und in 2 cm Bodentiefe bereits recht stark. Der Temperaturabfall, der sich von Anfang August an unter starken Schwankungen vollzieht, ist in den oberen Bodenschichten am stärksten, in den tieferen nur schwach. In-

folgedessen heben sich die Kurven der Temperaturen in 40 cm Bodentiefe gegenüber den andern Kurvenbündeln langsam in die Höhe. Sie kommen im Laufe des August und September über die Morgentemperaturen von 10 und 2 cm Tiefe zu liegen, so daß sie schließlich auch bei guter Wetterlage (16./20. IX.) höher sind als diese. Der große Kälteeinbruch vom 21./25. IX. geht an den Temperaturen in 40 cm Bodentiefe beinahe spurlos vorüber. In dieser Periode stehen die Temperaturen der größten Bodentiefen sogar über Mittag am höchsten.

Das Kurvenbündel ist in 10 und 40 cm Bodentiefe immer ziemlich dicht geschlossen. Auch in 2 cm Bodentiefe sind die Kurven der Morgenablesung meist sehr benachbart; aber zur Zeit der Mittagsablesung ist das Bündel aufgelockert infolge der Ungleichheit der täglichen Aufwärmung (vgl. Abb. 63). Am wärmsten ist das Seslerietum. Dann folgen in absteigender Linie das Nardetum, die Windecke, das Empetretum. Aber die Werte können sich berühren oder überschneiden, vor allem am Morgen. Die größten Differenzen zwischen den verschiedenen Stationen betragen am Mittag in 2 cm Bodentiefe $11,5^{\circ}$, in 10 cm Tiefe ca. 4° , in 40 cm Bodentiefe $3,5^{\circ}$, am Morgen in der gleichen Reihenfolge 5° , $2,5^{\circ}$, $3,5^{\circ}$, wobei diese Extreme immer zwischen dem Seslerietum und dem Empetretum auftreten.

Bodenoberflächen-Temperaturen 1931. Diese sind charakterisiert durch die großen Schwankungen der fünftägigen Temperaturkurven, die in den Maximalwerten am stärksten ausgeprägt erscheinen. Sie sind kleiner in den Morgenwerten, noch etwas kleiner am Mittag und wenig bedeutend in den Minimumwerten. Parallel der Größe der Schwankungen geht auch die Streuung der Kurvenbündel. Bei den Minimumwerten sind die Kurven dicht gedrängt und liegen selten mehr als $1-2^{\circ}$ auseinander. Die übrigen Kurvenbündel dagegen zeigen eine bedeutende Streuung, die in den Maximumwerten bis 11° ergeben kann. Dabei ist in der Mittags- und Maximumablesung das Empetretum am kältesten und im Kurvengang am ausgeglichensten; die Windecke nimmt eine intermediäre Stellung ein; Nardetum und Seslerietum, vorwiegend das erstere, erreichen die höchsten Werte. Die Morgen- und die Minimumablesung verhalten sich etwas anders: Am Morgen ist im Juli und August die Windecke am kältesten,

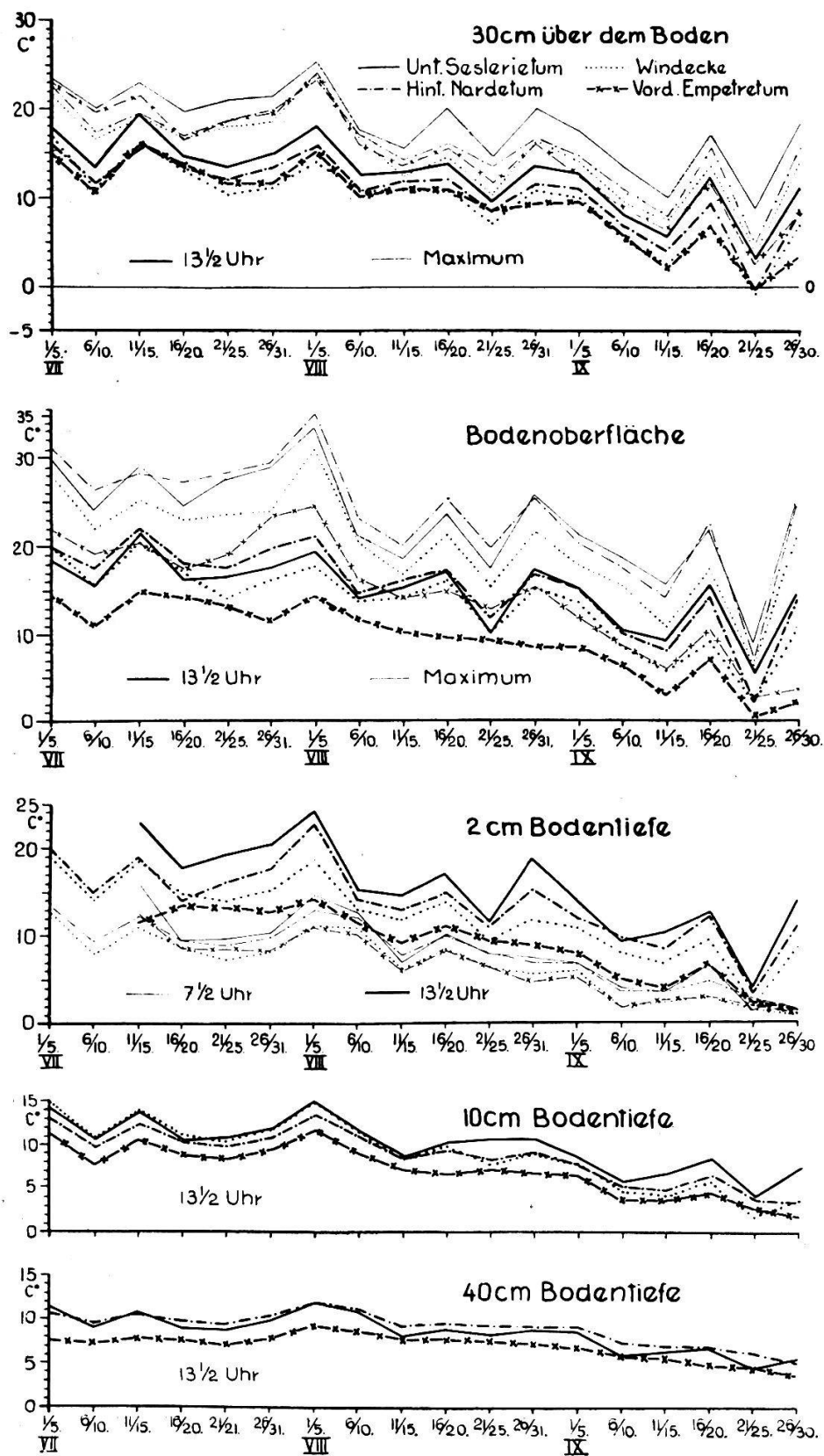


Abb. 63. Fünftägige Mittelwerte der Temperatur
in verschiedenen Pflanzengesellschaften im Jahre 1931.

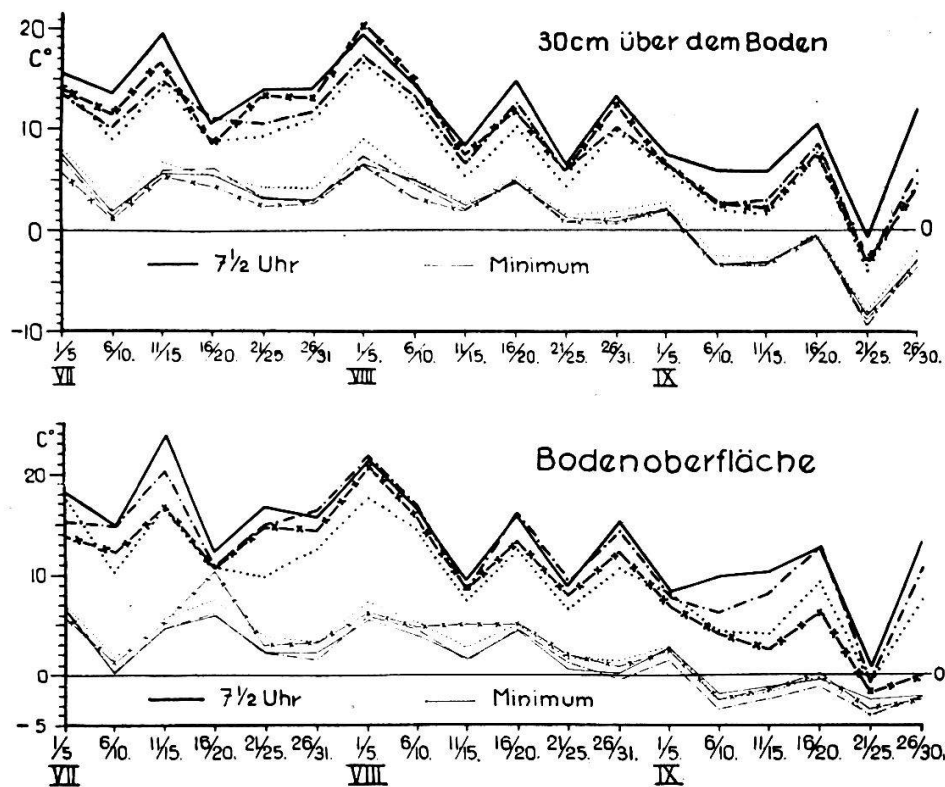


Abb. 64. Fünftägige Mittelwerte der Temperatur
in verschiedenen Pflanzengesellschaften im Jahre 1931.
(Ergänzung zu Abb. 63.)

und die Empetretumwerte reichen wiederholt an die Spitzen-
gruppe heran und fallen erst im September stark zurück. Bei den
Minimumwerten liegen die Kurven des Empetretums und der
Windecke im allgemeinen etwas höher als die des Seslerietums
und Nardetums, und das Empetretum erweist sich wiederholt in
der Nacht um mehrere Grade wärmer als die übrigen Stationen.
Eine außerordentlich hohe Temperaturstreuung zeigt die letzte
Septemberpentade: nach dem Kälteeinbruch vom 21./25. erwärm-
ten sich alle Stationen rasch wieder, mit Ausnahme des Empetre-
tums, das dadurch in den Maximumwerten um 18—22° hinter den
andern zurückblieb.

Die Kurven der Mittagsablesung bestätigen in auffallender
Weise, daß die stärkste Aufwärmung um 13.30 Uhr bereits vorbei
ist. Die Mittagskurven sind verhältnismäßig gestreckt; die Gut-
wetter- und Schlechtwetter-Perioden sind meist nicht so stark
ausgeprägt wie zur Zeit der maximalen Erwärmung oder der
Morgenablesung. Das ist besonders bei der Empetretumkurve sehr

auffallend. Im allgemeinen stehen die Mittagswerte höher als die Morgenwerte. Doch gibt es bei allen Stationen Ausnahmefälle, wo Morgen- und Mittagstemperaturen ungefähr auf gleicher Höhe stehen, und im Seslerietum und noch mehr im Empetretum übertreffen bei guter Wetterlage sogar die Morgenwerte diejenigen des Mittags ganz wesentlich.

Temperaturen, 30 cm über dem Boden, im Sommer 1931. Sie schließen sich im wesentlichen an die der Bodenoberfläche an. Doch sind die Maximumtemperaturen, vor allem in den Schönwetterperioden, bedeutend niedriger (für das Seslerietum ca. $5-8^{\circ}$). Mit Ausnahme der Minimumkurve zeigen die Seslerietumkurven immer die höchsten Werte an. Nur vom 1.—10. Juli, der Zeit der stärksten Aufwärmung, steht bei der Morgenablesung das Empetretum an der Spitze. Das Empetretum weist überhaupt einen günstigen Gang der Lufttemperatur auf, besonders am Morgen. Seine Lufttemperaturen sind ungefähr in gleicher Höhe wie die der Bodenoberfläche und halten sich, speziell im Juli und August, auf gleicher Höhe wie das Nardetum und die Windecke, ja übertreffen sie zeitweise sogar. Erst im September ist die maximale Aufwärmung im Empetretum deutlich geringer als in den übrigen Stationen. Auffallend ist die enge Scharung der Minimumtemperaturen. Die Windecke ist hier bei Schlechtwetter und Gutwetter etwas wärmer als die übrigen Stationen, das Empetretum oft etwas kälter. Der Kälteeinbruch vom 21./25. September tritt bei den Minimumwerten beträchtlich stärker in Erscheinung als auf der Bodenoberfläche; zeigen doch diese Tage ein mittleres Minimum von $7,5-9^{\circ}$ unter Null und Extreme bis -14° .

Im großen und ganzen ist der allgemeine Verlauf der verschiedenen Kurven innerhalb der erwähnten Besonderheiten ziemlich gleichmäßig. Doch gibt es charakteristische Ausnahmen. Vom 16./20. Juli zeigen die Maximum-, Morgen- und Mittagsablesungen einen deutlichen Tiefwert. Die Minimum-Ablesung dagegen verzeichnet bei allen Stationen einen ausgesprochenen Hochwert, am stärksten im Empetretum. Deutliche Kurveneinsenkungen zeigen auch die Bodentemperaturen mit Ausnahme der Mittagswerte des Empetretums in 2 cm Bodentiefe. Die Messungen bringen somit zum Ausdruck, wie die starke Himmelsbedeckung dieser Tage die Aufwärmung verhinderte, zugleich aber die nächtliche Abküh-

lung hemmte. Weitere Abweichungen vom allgemeinen Verlauf der Kurven zeigen die Kurven vom 26./31. Juli, wo ein Teil der Empetretum- und Seslerietumwerte aus dem allgemeinen Gang herausfallen. Sie sind die Auswirkung besonderer Himmelsbedeckung am Morgen, die im Laufe des Vormittags zurückgeht.

Temperaturen im Sommer 1932 (Abb. 65). In diesem Jahre wurden, wie wir bereits erwähnten, an der Bodenoberfläche und in der freien Luft nur die täglichen Maximum- und Minimumwerte der Temperatur gemessen und die Bodentemperaturen nur um 13.30 Uhr, also in der Nähe des Maximumwertes, festgestellt. Entsprechend der Witterung verlaufen auch unsere Kurven der Temperaturpentaden ganz anders als im Vorjahre: Juni und Juli zeigen verhältnismäßig tiefe Temperaturen mit starken Schwankungen, wobei vom 21.—25. Juni ein tiefer Kälteeinbruch erfolgt, der im Seslerietum sogar in 40 cm Bodentiefe stark in Erscheinung tritt. Im August ist die Zeit der höchsten Aufwärmung, und nach einem vorübergehenden Abfall um Ende August und Anfang September kommt es vom 6.—20. September nochmals zu einer Erwärmung, die nur wenig hinter der des Augusts zurückbleibt. Dann erfolgt der herbstliche Temperaturabfall. Aber die Temperaturen von Ende September und Anfang Oktober stehen im Boden und in den Maximumwerten der Bodenoberfläche und der freien Luft, mit Ausnahme des Empetretums, wesentlich über denen, die zur Zeit des Kälteeinbruchs um den längsten Tag herum geherrscht haben. Im allgemeinen zeigen die Kurvenbündel gute Übereinstimmung in den Hauptzügen des Verlaufes. Wie im Sommer 1931 sind die einzelnen Stationen in den Minimumwerten eng geschart, wobei die Windecke etwas wärmer ist als die übrigen Stationen, namentlich in den Zeiten guter Witterung. Die Maximumwerte der Lufttemperatur und ebenso die Temperaturen in 2 und 10 cm Bodentiefe liegen nur zur Zeit der sonnenarmen Witterung dicht beisammen; zur Zeit starker Aufwärmung rücken sie auseinander. Besonders weit geht diese Auflockerung an der Bodenoberfläche.

In 2 cm Bodentiefe steht das untere Seslerietum am höchsten. Ihm folgt im August und September die Windecke, während alle übrigen Stationen beträchtlich zurückbleiben. In sehr auffallender Weise steht das obere Seslerietum bis Mitte August aus-

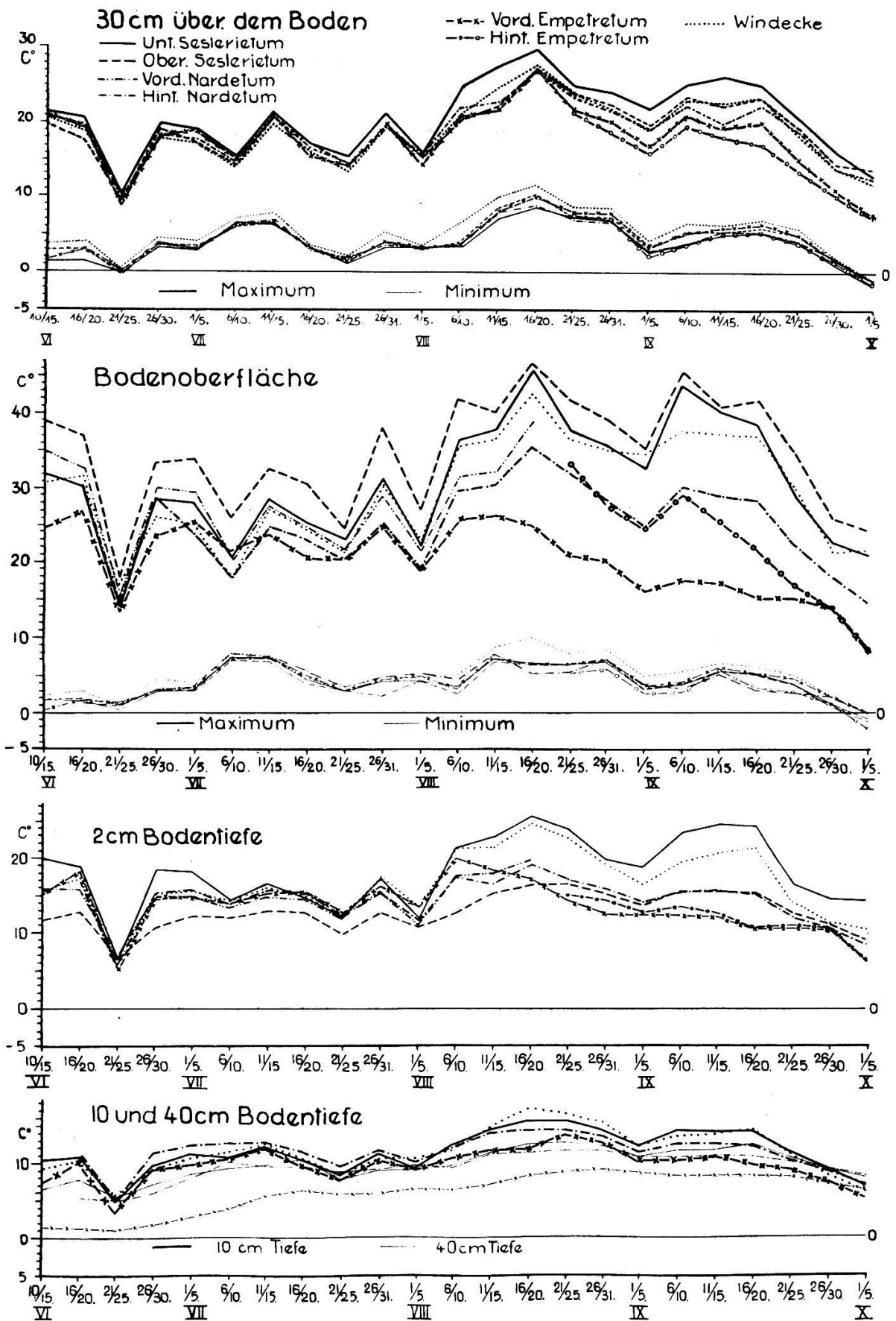


Abb. 65. Fünftägige Mittelwerte der Temperatur
 in verschiedenen Pflanzengesellschaften im Jahre 1932.

gesprochen am Schluß aller Stationen, so daß die beiden Seslerietumkurven, als Extreme, das ganze Kurvenbündel umschließen. Gegen den Herbst hin rückt aber das obere Seslerietum andauernd aufwärts, während die Empetretumstation, die bis dahin eng aufgeschlossen mit Nardetum, Windecke und außerhalb der Schönwetterperioden auch dem unteren Seslerietum ging, von da an stark abfällt. Die Temperatur 30 cm über dem Boden macht einen ähnlichen Gang wie in 2 cm Bodentiefe; doch gehen die Werte der verschiedenen Stationen nicht so weit auseinander. Das obere Seslerietum, das um Mitte Juni auch in der freien Luft die tiefsten Temperaturen aufzeigt und dann bis in den August in der engen Kurvenschar untertaucht, rückt von Mitte August an nach vorn und setzt sich mit der Windecke an zweite Stelle, ja nimmt in der Oktoberpentade den ersten Rang ein. Weit- aus die stärksten Schwankungen hat wiederum die Bodenoberfläche. Hier steht während der ganzen Zeit unbestritten das obere Seslerietum an der Spitze. Ihm folgt im Juni das vordere Nardetum und vom Juli an das untere Seslerietum, zeitweilig stark konkurrenziert von der Windecke. Vorderes Empetretum und hinteres Nardetum weisen in der ersten Sommerhälfte in der Regel die niedrigsten Temperaturen auf. Vorübergehend (1./10. VII.) übergipfelt aber die Empetretumkurve die der Windecke und während der Schlechtwetterperiode vom 6./10. VII. sogar die des unteren Seslerietums. Vom August an macht aber das hintere Nardetum die hochsommerliche Aufwärmung mit, wenngleich in bescheidenem Rahmen, während das vordere Empetretum darauf nicht reagiert, sondern seine Maximum-Temperatur andauernd abnimmt. Die Station, die vom 20. August an im hinteren Empetretum aufgestellt war, zeigte auffallenderweise bis Ende September auf der Bodenoberfläche wesentlich höhere Werte als das vordere Empetretum. Sie erreichen während längerer Zeit sogar die Temperaturen des hinteren Nardetums. Auch in 2 cm Bodentiefe sind die Temperaturen im hinteren Empetretum etwas höher als im vorderen Empetretum, während sich die Lufttemperaturen umgekehrt verhalten. Die Absatzstelle im hintern Empetretum, auf der die Temperaturen gemessen wurden, war jedenfalls von der Sonne etwas günstiger bestrahlt als die des vorderen Empetretums.

In der Bodentiefe von 40 cm sind die Kurven des unteren Seslerietums und des hinteren Nardetums benachbart und schneiden sich wiederholt, wobei der Boden im Seslerietum während der Schönwetterzeiten im allgemeinen etwas wärmer ist. Das vordere Empetretum dagegen ist um 3—5° kälter. Erst gegen den Herbst hin erfolgt eine größere Annäherung, da die Empetretumkurve am längsten ansteigt und nur ganz langsam abfällt. Im Seslerietum und Nardetum sind die Witterungsperioden in der Temperatur dieser Bodentiefe noch deutlich zu erkennen, wenngleich teilweise zeitlich verschoben. Im Empetretum dagegen sind sie nur noch

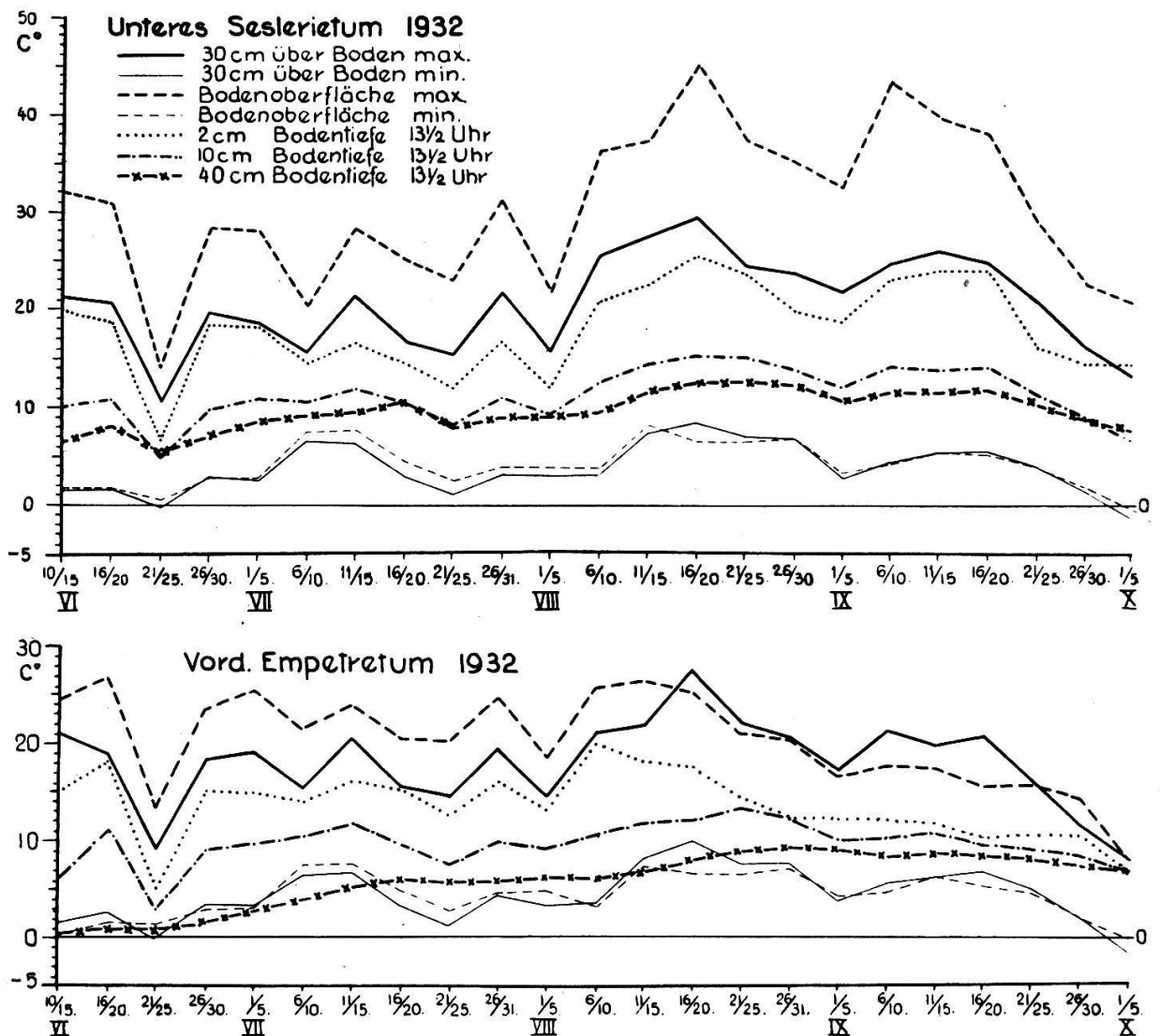


Abb. 66. Fünftägige Mittelwerte der Temperatur im unteren Seslerietum und vorderen Empetretum im Jahre 1932. Zusammenstellung der verschiedenen Meßstellen.

angedeutet. Die Bodentiefe von 10 cm nimmt eine Zwischenstellung ein; denn die stärkeren Gutwetter- und Schlechtwetterperioden sind noch gut ausgeprägt, aber doch in ihren Ausschlägen stark abgeschwächt, ausgerundet. Am höchsten stehen im Juli das hintere Nardetum, im August die Windecke und im September Windecke und unteres Seslerietum, während das Empetretum den ganzen Sommer durch kälter ist als die übrigen Stationen, bis Anfang August nur um sehr wenig, von da an stärker.

Wir haben in Abbildung 66 für den ganzen Sommer 1932 alle Pentaden-Temperaturkurven des Seslerietums und des Empetretums, der beiden Temperaturantagonisten, zusammengestellt und erhalten so ein anschauliches Bild davon, wie verschieden die untersuchten Horizonte in den beiden Gesellschaften sich in bezug auf die Wärmeverhältnisse verhalten, wie namentlich die Maxima- und Minimawerte der Bodenoberfläche und der freien Luft auseinanderliegen. Besonders auffallend ist ferner die niedere Lage der 40 cm-Bodentemperaturkurve im Empetretum und das verschiedene Verhalten der Temperaturen auf der Bodenoberfläche und in 2 cm Bodentiefe gegenüber der Lufttemperatur in der 1. und 2. Hälfte des Sommers.

Überblick: Wenn wir von dem ungleichen Verlauf der Wetterlagen absehen, so finden wir in den beiden Beobachtungsjahren für die verschiedenen Stationen und verschiedenen Höhen über und unter dem Boden in den Hauptzügen die gleichen Gesetzmäßigkeiten. Die Kurven verlaufen im großen und ganzen parallel, was in der Zusammenstellung der Lufttemperaturkurven der extremen Standorte, unteres Seslerietum und vorderes Empetretum, für die beiden Beobachtungsjahre besonders gut zum Ausdruck kommt (Abb. 67). Die Minimumkurven liegen meist dicht beisammen, die Maximumkurven zwar viel höher und in Gutwetterperioden sehr aufgelockert, aber doch in guter Parallelität. Einzelne Stationen verhielten sich aber in den beiden Jahren wesentlich anders, trotzdem sie annähernd am gleichen Ort errichtet worden waren. Dies trifft vor allem das hintere Nardetum, das im Jahre 1931 auf der Bodenoberfläche zusammen mit dem unteren Seslerietum die höchsten Maxima aufwies, im Jahre 1932 schon im Juli und in viel stärkerem Maße im August-September

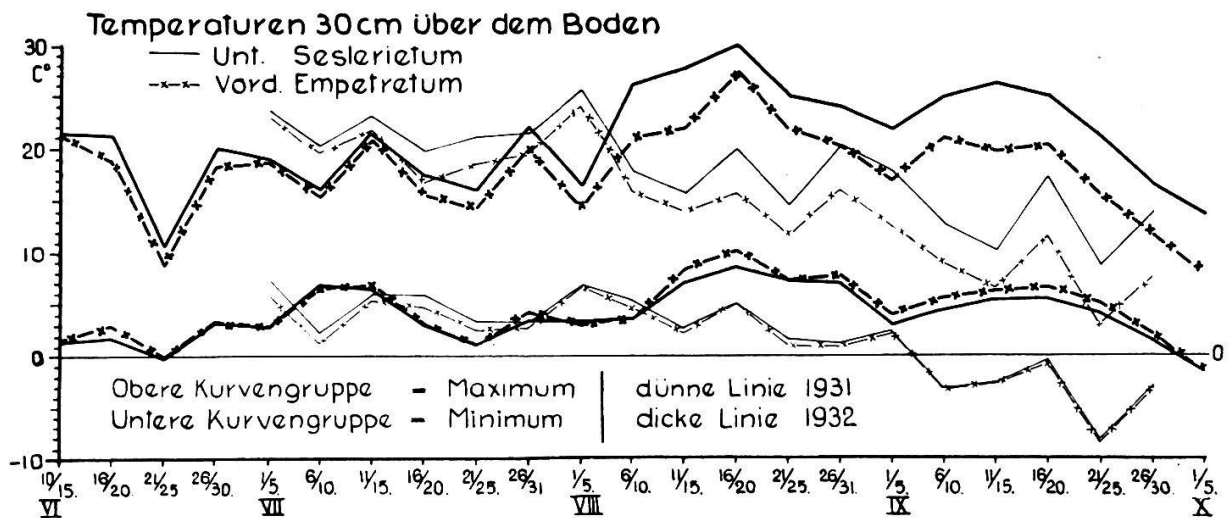


Abb. 67. Fünftägige Mittelwerte der Temperatur im unteren Seslerietum und im vorderen Empetretum, 30 cm über der Bodenoberfläche. Nebeneinanderstellung der Jahre 1931 und 1932.

zurückblieb. Seine Kurve aus 2 cm Bodentiefe verläuft im Jahre 1931 beinahe stets an zweiter Stelle, unter dem führenden untern Seslerietum und über der Windecke, während sie 1932 vom 25. Juli an niedrig verläuft, bis Mitte August zeitweilig sogar unter dem Empetretum und vom 10. VIII. an tief unter dem unteren Seslerietum und der Windecke. An der Windecke trat in 2 cm Bodentiefe im Jahre 1932 bereits von Mitte Juli an eine bedeutend bessere Aufwärmung ein. Die im Jahre 1932 neu eingerichteten Stationen zeigen, wie innerhalb der gleichen Pflanzengesellschaft bedeutende Abweichungen in den kurzfristigen Temperaturwerten auftreten können.

Vergleichen wir zum Schluß noch die Größe der Temperaturunterschiede der Beobachtungsjahre, so fällt besonders auf, wie im Jahre 1932 die Maxima höher standen. Das gilt vor allem für die Bodenoberflächen, wo die Pentadenmaxima im August im unteren Seslerietum 46° und in der Windecke 43° erreichen und damit $11\text{--}12^{\circ}$ über den höchsten Werten des Vorjahres und 20° über den höchsten Augustwerten des Vorjahres standen. Im hinteren Nardetum und in dem vorderen Empetretum dagegen sind die Unterschiede nicht groß, was damit zusammenhängt, daß die Höchstwerte im Spätsommer auftraten, in einer Zeit, da in diesen Stationen die Sonnenstrahlung nicht mehr stark

wirkte. 30 cm über dem Boden gehen die maximalen Unterschiede der beiden Jahre bereits auf 4° zurück und in 2 und 10 cm Bodentiefe betragen sie noch ca. 2° . Aber diese höheren Temperaturen dauern im Jahre 1932 bedeutend länger an als im Vorjahr, so daß der Wärmegenuß, der dem Boden und den Pflanzen zukam, insgesamt viel größer war, auch wenn die Temperaturunterschiede nicht sehr groß waren.

Die Minima weichen in der ersten Sommerhälfte nicht weit voneinander ab (Abb. 67). Aber vom 6. August an fallen sie im Jahre 1931 bedeutend stärker und auf viel tiefere Werte als im folgenden Jahre.

Am wenigsten wurden die Temperaturen in 40 cm Bodentiefe in den beiden Jahren durch die verschiedene Wetterlage beeinflusst. Sie stunden am 1. Juli allerdings im Jahre 1932 infolge der vorausgegangenen kalten Periode vom 21.—25. Juni bedeutend tiefer als im Vorjahre (Empetretum = 5° , Seslerietum und hinteres Nardetum ca. 3°), holten dann aber langsam auf und gelangten spät, erst von Mitte August an, zu den Maximalwerten, die für das Empetretum gleich blieben wie im Vorjahre, für die beiden andern Stationen um 1° höher lagen. Der Abfall im September war nur gering, und die Temperaturen lagen in diesem Monat um ca. 3° höher als im Vorjahre. Es ergibt sich also, daß die Temperaturkurven in 40 cm Bodentiefe in den beiden Beobachtungsjahren einen entgegengesetzten Verlauf nahmen, im ersten Jahr früher Aufstieg und früher Abfall, im andern später Aufstieg und später Abfall, wobei aber die dem Boden in dieser Tiefe zugekommene Wärmemenge nicht stark verschieden war.

Wintertemperaturen

Um einen Anhaltspunkt über die winterlichen Extrem-Temperaturen zu erhalten, haben wir über den Winter 1933/34 und wiederum 1934/35 in verschiedenen Pflanzengesellschaften Maxima- und Minima-Thermometer auf den Erdboden ausgelegt. Einzelne Instrumente erwiesen sich bei der Kontrolle im Frühling durch den Schneedruck beschädigt; die erhaltenen zeigten folgende Temperaturwerte auf:

Lokalität	Ausgesetzt	kontrolliert	Minimum C°	Maximum C°
Oberes Seslerietum	2. X. 1933	8. VI. 1934	—20,5	+39
Windecke			—18,0	+30
Vorderes Empetretum			— 3,5	+29
Oberes Seslerietum	1. X. 1934	28. V. 1935	—15,0	+14,0
Windecke			—11,0	+10,0
Vorderes Empetretum			—11,0	+11,0
Frischwiese Nordhang		14. VI. 1935	— 5,5	+16,6

Die Werte sind insofern zufälliger Art, als je nach der Dauer der Schneebedeckung die winterlichen Minima mehr oder weniger in Erscheinung treten können. Das gilt auch für die Maximalwerte, die größer oder kleiner werden, je nachdem an einem Strahlungstag die Instrumente der Sonne ausgesetzt oder unter Schnee verborgen waren. Durch diese Zufälligkeiten sind die großen Unterschiede in den Maximalwerten der beiden Winter zu erklären. Der höhere Wert der nach Norden gelegenen Frischwiese gegenüber dem Sonnenhang kommt davon her, daß dieses Thermometer erst Mitte Juni kontrolliert wurde, da es bei der Kontrolle der übrigen Instrumente Ende Mai noch unter Schnee lag. Die größten Kältegrade und die höchsten Extremwerte zeigen sich im oberen Seslerietum, was nach unseren sommerlichen Messungen auch zu erwarten war. Anderseits sinkt die Temperatur an den schattigen Nordhängen mit lange und gleichmäßig andauernder Schneebedeckung wenig tief ab und erreicht in der Regel wohl die Minimalwerte im Herbst vor dem Einschneien, das sich oft lange hinauszögern kann.

Täglicher Verlauf der Temperaturen

An einigen Schönwettertagen untersuchten wir durch stündliche Messungen den Verlauf der Temperaturen, der relativen Luftfeuchtigkeit und der Verdunstungskraft der Luft. Die Tage wurden über die Vegetationszeit so verteilt, daß einer in ihrem Beginn, zur Zeit des höchsten Sonnenstandes, lag, einer im mittleren Teil, als die Sonnenhöhe bereits wesentlich abgenommen hatte und einer am Ende der Wachstumsperiode, nach der Tag- und Nachtgleiche, kurz vor dem Einwintern. Die Ablesungen begannen jeweilen am Morgen vor Sonnenaufgang und endigten erst in der Nacht. Wir bringen hier vorerst die Ergebnisse der Temperaturmessungen.

Naturgemäß hängt der tägliche Gang der Temperaturen weitgehend von der Bewölkung und den Winden ab. Die Ergebnisse können nur unter Berücksichtigung der Wetterlage ausgewertet und miteinander verglichen werden. Wir geben infolgedessen zu jedem Beobachtungstag eine kurze Wettercharakteristik. Als Beobachtungstage wurden zwar nach Möglichkeit Sonnentage ausgewählt; doch befindet sich unter ihnen ein einziger voller Strahlungstag. Da er den normalen täglichen Temperaturgang am reinsten wiedergibt, stellen wir ihn an die Spitze der Besprechung und schließen die andern Tage an.

18. August 1932. Der Tag war völlig wolkenlos. Es wehte eine nördliche Windströmung, die am Morgen nur schwach war, von 11 Uhr an aber kräftiger wurde und sich im Laufe des Nachmittags zur starken Bise entwickelte. Am Abend flaute der Wind wieder ab. Noch um 22 Uhr strahlten bei prächtigem Mondschein die Sonnenhänge so viel Wärme aus, daß der menschliche Körper sie wohligh-angenehm empfand. Es sind also Temperaturkurven von hoher Ausgeglichenheit, nur durch den Wind gestört, zu erwarten. Sie zeigen eine gute Individualisierung der Gesellschaften (Abb. 68).

30 cm über dem Boden: Die Temperatur nimmt am Morgen einen sehr raschen Anstieg, erreicht das Maximum schon im Vormittag und fällt dann langsam bis zum Abend ab. Die Tagesmaxima der verschiedenen Stationen sind wenig verschieden und erreichen folgende Werte:

Vorderes Nardetum	27,5°
Vorderes Empetretum	28,0°
Hinteres Nardetum	/ 28,5°
Windecke	
Oberes Seslerietum	
Unteres Seslerietum	30,5°

Am frühesten erreicht die Erwärmung ihren Maximalwert im Empetretum (um 9 Uhr), das auch von 7—9 Uhr die höchste Lufttemperatur aufweist. 3 Stationen ergaben den höchsten Stundenwert um 10 Uhr, die Windecke erst um 11 Uhr. Die Tagesmaxima liegen zum Teil zwischen 9 und 10 Uhr (VE, US), zum Teil zwischen 10 und 11 Uhr (VN, OS, W, HN). Das Empetretum zeigt den raschesten Temperaturabfall, die Windecke den langsamsten. Im Laufe des Nachmittags erfährt der Temperaturabfall

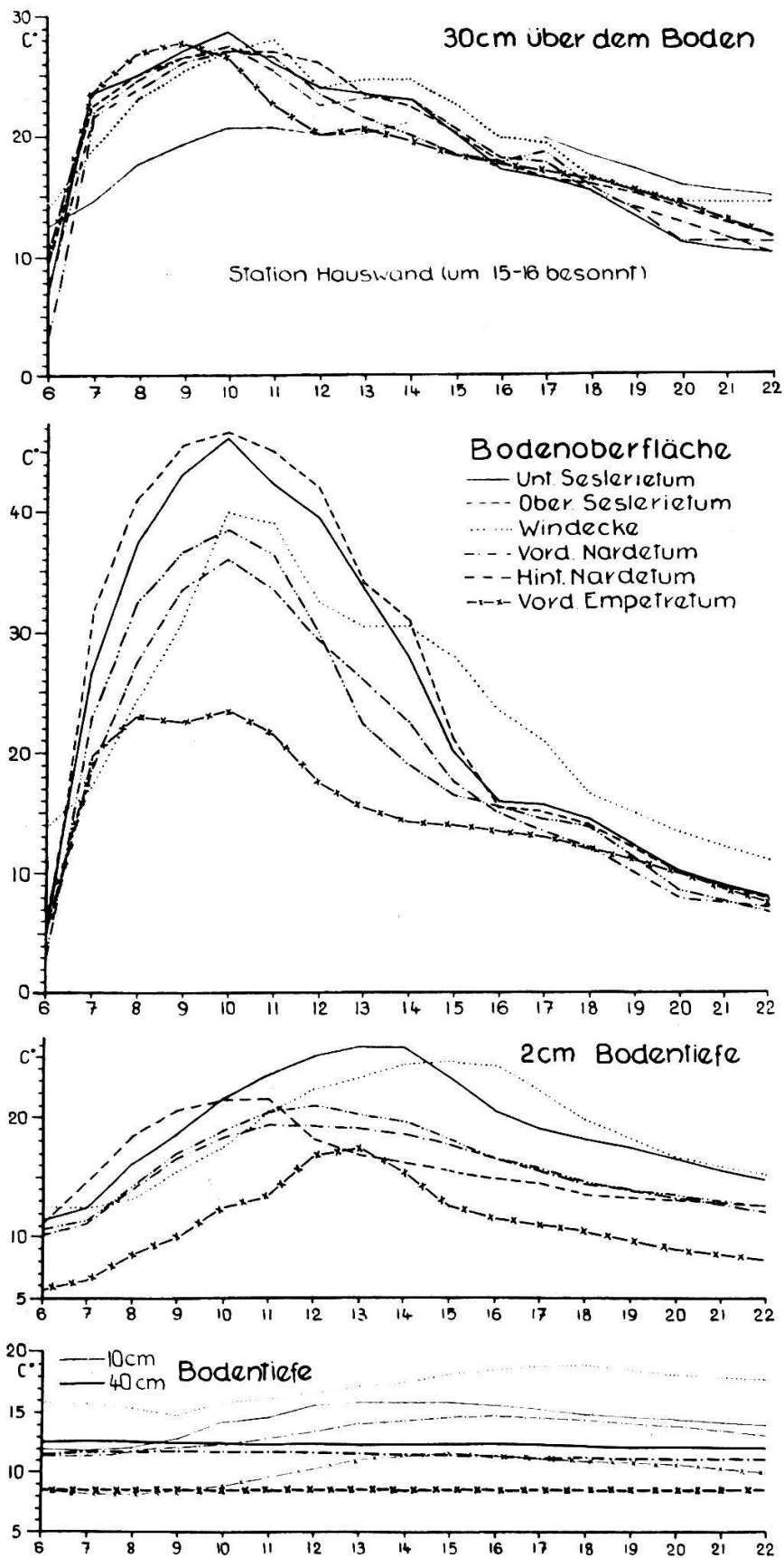


Abb. 68. Stündliche Temperaturwerte in verschiedenen Pflanzengesellschaften am 18. August 1932.

im Empetretum eine Verzögerung, die dazu führt, daß die Empetretumkurve die Seslerietum- und Nardetum-Kurven überschneidet und von 18—20 Uhr dicht an die Spitzenkurve der Windecke anschließt. Von 20—22 Uhr bleibt die Temperatur auf der Windecke und im vorderen Nardetum konstant. So ist die Windeckentemperatur am späten Abend wesentlich höher als bei allen andern Stationen. Auch am frühen Morgen, vor Sonnenaufgang, war sie am höchsten, und dann folgte mit $3,5^{\circ}$ Abstand das Empetretum.

Viel weniger steil stieg die Schattentemperatur an der Hauswand an. Sie gelangte zwischen 10 und 11 Uhr zu einem Maximum von 21° , dem dann ein ganz langsamer Abfall folgte, unterbrochen durch den sekundären Anstieg infolge der direkten Sonnenbestrahlung von 14—16 Uhr. Um 22 Uhr stand die Temperatur an der Hauswand annähernd auf der gleichen Höhe wie die der Windecke, während sie am frühen Morgen $1,5^{\circ}$ tiefer lag.

Bodenoberfläche: Der morgendliche Temperaturanstieg erfolgte ebenfalls sehr rasch und führte, mit Ausnahme des Empetretums, zu viel höheren Maximalwerten als in der freien Luft. Alle Stationen erreichen das Maximum um 10 Uhr; doch ist die Differenzierung bedeutend. Im Empetretum wird schon um 8 Uhr eine Temperatur erreicht, die annähernd dem Tagesmaximum entspricht. Sie bleibt mit 25° etwas hinter der Freilufttemperatur zurück. Weitaus die höchsten Temperaturen finden wir in den beiden Seslerieta; die Tagesmaxima erreichten im oberen Seslerietum 48° , im unteren Seslerietum $47,5^{\circ}$. An der Windecke erfolgte der Anstieg der Temperatur am langsamsten; viel langsamer noch vollzog sich an dieser Station der Temperaturabfall, so daß sie von 14 Uhr an alle andern Stationen, deren Werte sich einander sehr nähern, überflügelt und ausgesprochen die höchsten Nachttemperaturen aufweist. Auch im Empetretum ging an der Bodenfläche die Abkühlung langsam vor sich; ihre Bodenoberflächentemperaturen nähern sich im Laufe des Nachmittags den übrigen Stationen, steigen am Abend sogar über die der Nardeta und rücken eng an die Seslerietum-Temperaturen heran.

2 cm Bodentiefe: Die Temperatur zeigt einen langsameren Auf- und Abstieg als an der freien Luft, einen meist breiten Rücken und langsamen Abfall. Die einzelnen Kurven verlaufen ziem-

lich ungleich. Das obere Seslerietum erreicht seinen höchsten Wert bereits zwischen 10 und 11 Uhr und verzeichnet daraufhin einen anfänglich raschen Temperaturabfall. Dieser Verlauf der Kurve ist sehr befremdend, besonders wenn man ihn mit dem hohen und regelmäßigen Gipfel vergleicht, den die Temperatur dieser Station an der Bodenoberfläche bildet (vgl. Abb. 68). Das hintere Nardetum erlangt seinen Höchstwert um 11 Uhr, das vordere Nardetum, bei etwas stärkerer Erwärmung um 12 Uhr, worauf ein ganz langsamer und ausgeglichener Temperaturabfall erfolgt. In den übrigen Stationen gelangt die Temperatur in 2 cm Bodentiefe erst nach Mittag zum Maximalwert: im Empetretum um 13 Uhr, im unteren Seslerietum zwischen 13 und 14 Uhr, in der Windecke erst um 15 Uhr. Die erreichten Temperaturwerte sind niedriger als an der freien Luft, am höchsten im unteren Seslerietum und an der Windecke, am niedrigsten im Empetretum. Wenn man die Temperatursummen aus allen Beobachtungen dieses Tages bildet, so stehen das untere Seslerietum und die Windecke infolge der höchsten Maxima und der hohen Nachmittagswerte an der Spitze, das obere Seslerietum und die beiden Nardeta bilden eine Mittelgruppe, und das Empetretum kommt weit hintennach. Seine Temperatur bleibt meist um 4—5° unter der Station mit den nächst höheren Werten, und nur ein einziges Mal, zur Zeit ihres Gipfelwertes, erreicht sie die einer andern Gesellschaft, die des oberen Seslerietums.

10 cm Bodentiefe: Die Temperaturkurven der vier Stationen mit Beobachtungen in dieser Bodentiefe verlaufen sehr flach, mit wenig ausgeprägtem Maximum, das in den Nachmittag hinausgerückt ist: im unteren Seslerietum zwischen 13 und 15 Uhr, im vorderen Empetretum um 15 Uhr, im hinteren Nardetum um 16 Uhr, in der Windecke um 18 Uhr. Während des ganzen Tages stehen die Temperaturen am höchsten in der Windecke. Ihr folgen in absteigender Linie das untere Seslerietum (1,5—4° tiefer), das hintere Nardetum und das Empetretum, das stets um etwa 3° unter dem Nardetum und um 7—9° unter der Windecke steht. Auch das Tagesminimum wird verspätet erreicht, im unteren Seslerietum um 7 Uhr, im hinteren Nardetum und im Empetretum um 8 Uhr, in der Windecke um 9 Uhr. Die Gesamtschwankung des Tages macht für die einzelne Station etwa 4° aus.

40 cm Bodentiefe: Die Tagesschwankung der beiden in diese Bodentiefe hinabreichenden Stationen ist sehr klein. Die Temperaturwerte schwanken im unteren Seslerietum von 12,3—12,6°, im hinteren Nardetum von 11,5—11,7°. Der Minimalwert wird im unteren Seslerietum um 8—9 Uhr, im Nardetum um 18—22 Uhr und morgens 6 Uhr erreicht, der Maximalwert um 20—22, resp. 8—12 Uhr. Die Temperaturmaxima und -Minima, die allerdings mit ihren Schwankungen von nur einigen Zehntelsgrad in der Nähe der Fehlergrenze liegen, sind also in der Bodentiefe von 40 cm gegenüber den Einstrahlungswerten unregelmäßig verschoben. Der Übersichtlichkeit halber wurde in die Darstellung auch noch ein Wert für die 40 cm-Erdbodentiefe des Empetretums eingetragen, der am Beobachtungstage nicht gemessen werden konnte, aber am 20. VIII. 8,4° betrug. Der Empetretumboden war also in 40 cm Tiefe 3° kälter als der des hinteren Nardetums und 4° als der des unteren Seslerietums.

12. Juni 1932. Der Morgen war kühl, mit starker Taubildung. In der Umgebung der Windecke lag sogar etwas Reif. Mit dem Aufgehen der Sonne um 4.55 Uhr setzte rasche Aufwärmung und Auftrocknung des Taues ein. Während des Vormittags herrschte heller Sonnenschein, verbunden mit annähernder Windstille. Langsam bewölkte sich der Himmel, und von 12 Uhr an war die Sonne zeitweise verschleiert oder verdeckt; um 13 Uhr verschwand sie sogar für einige Zeit hinter einer Wolkenwand. Während des Nachmittags und Abends wurde die Bewölkung auf 50 bis 70 % geschätzt. Die Luftbewegung nahm zu und wurde zeitweilig ziemlich kräftig (13—18 Uhr, mit Unterbruch). Um 21 Uhr betrug die Bewölkung etwa 80 %. Taubildung trat nicht ein. Als Ganzes kann man diesen Tag als einen typischen Bisen-Schönwettertag bezeichnen, mit der charakteristischen Wolkenbildung vom Vormittag an.

Wir verzichten darauf, die Ergebnisse bildlich darzustellen. Für die beiden Extreme, unteres Seslerietum und vorderes Empetretum, können sie aber aus den Abbildungen 71 und 72 entnommen werden. Der Temperaturverlauf zeigt im wesentlichen die gleichen Züge wie im August, nur beginnt die Aufwärmung, entsprechend den längeren Tagen, um eine Stunde früher und er-

reicht infolge der Bewölkung niedrigere Werte. Auch wird der Temperaturabfall während des Nachmittags unregelmäßig, indem je nach dem Zufall der leichteren oder stärkeren Bewölkung zur Zeit der Ablesung sekundäre Maxima und Minima auftreten. Insbesondere sind noch folgende Erscheinungen hervorzuheben. In 30 cm über dem Boden erfolgt die Aufwärmung am raschesten im Empetretum und führt dort, wie im August, zum Maximum um 9 Uhr. Das untere Seslerietum überschneidet die Empetretumkurve erst um 10 Uhr, erreicht die größte Erwärmung um 11 Uhr und bleibt während des Nachmittags und Abends nur wenig über dem vorderen Empetretum. An der Bodenoberfläche sind die Temperaturmaxima bedeutend weniger hoch als im Juni, mit Ausnahme des Empetretums, das am Morgen eine merklich größere Erwärmung zeigt. Es gelangt bereits um 8 Uhr ins Maximum, das untere Seslerietum erst um 11 Uhr. Wegen dieser stärkeren morgendlichen Strahlungswirkung steht im Juni, im Gegensatz zum August, die Temperatur auch im Empetretum an der Bodenoberfläche höher als in der freien Luft. Auffallend und schwer erklärbar ist die von 7—8 Uhr erfolgende Störung der Aufwärmung im unteren Seslerietum, die eine lokale Ursache haben muß. An der Windecke ist die Bodenoberflächentemperatur relativ niedrig; im Vormittag ist seine Bodenoberfläche stundenlang am kältesten von allen Stationen, und von den nachmittäglichen Maximalwerten, die wir im August fanden, ist kaum etwas zu verspüren. Noch ungünstiger stellt sich die Windecken-Temperatur in 2 cm Bodentiefe, während das Empetretum sich wieder durch starke morgendliche Aufwärmung und frühzeitigen Abfall der Temperatur auszeichnet. In 10 cm Bodentiefe ist der Kurvenverlauf ganz ähnlich wie im August; aber die Temperaturen sind niedriger. Insbesondere ist der Boden der Windecke wenig erwärmt, so daß die Temperatur unter der des unteren Seslerietums bleibt. Noch auffallender ist die geringe Erwärmung des Bodens in 40 cm Bodentiefe, wo die Temperatur im Empetretum während des ganzen Tages nahe der 0°-Grenze bleibt (0,3—0,4°; letzterer Wert um 21 Uhr erreicht).

2. Oktober 1932. Nach einem klaren Vortag brachte der Beobachtungstag eine wechselnde Bewölkung: klarer Morgen mit

starkem Tau und mit Reif bei der Windecke und im hinteren Nardetum. Von 9 Uhr an Sonne zeitweise verdeckt oder verschleiert; zeitweise kräftiger scheinend; wiederholt etwas Regenfall (12, 20, 22 Uhr). Wind von Südost, stark um 7 Uhr und 12 Uhr, schwächer um 13, 17, 20 Uhr, dazwischen beinahe Windstille. Sonnenaufgang um 6.50 Uhr. Die Empetretum-Stationen (je eine im vorderen und hinteren Empetretum) lagen bereits um 9 Uhr ziemlich im Schatten, und um 16 Uhr wurde keine Station mehr beschienen. — Wir geben von diesem Tag keine bildliche Darstellung und nur die Hauptergebnisse.

Die Verkürzung der Sonnenscheindauer und die herbstliche Abkühlung erklären ohne weiteres die geringeren Temperaturwerte gegenüber den Beobachtungstagen im Juni und August. Doch machen die tieferen Bodenschichten eine Ausnahme: in 10 und 40 cm Bodentiefe sind die Temperaturen beinahe so hoch wie im August und wesentlich höher als im Juni; die Abkühlung ist noch wenig in den Boden eingedrungen. Als allgemeines Charakteristikum fällt die enge Benachbarung der Kurven auf. Nur zur Zeit der Maximalwerte sind die Kurvenbündel wesentlich auseinandergezogen. Die Bewölkungsverhältnisse spiegeln sich in den Kurven derjenigen Thermometer, die der Luft frei ausgesetzt waren: der vor 7 Uhr beginnende, morgendliche Anstieg wird bereits um 8 Uhr abgebremst; ein kräftiges, allgemeines Maximum wird um 11 Uhr beobachtet, kleinere Maxima um 14 oder 15 Uhr. Auf der Bodenoberfläche zeigen das obere Seslerietum und die Windecke die stärkste Aufwärmung; dann folgt das untere Seslerietum, während die beiden Empetretum-Stationen deutlich am schwächsten aufwärmen, aber im Laufe des Nachmittags auch weniger stark abkühlen als die übrigen Stationen, so daß sie sich dem Kurvenbündel einordnen. Im Boden liegen die Temperaturwerte des Empetretums vom Spätnachmittag an und insbesondere am Morgen und Vormittag tiefer als in den übrigen Stationen, denen sie sich über Mittag beträchtlich annähern. Die Schwankungen der Sonnenstrahlung machen sich bereits in 2 cm Bodentiefe nicht mehr stark geltend.

5. Oktober 1932. Am Vortag war Schnee gefallen. Der Morgen war kalt, aber klar. Sonnenaufgang gegen 7 Uhr. Tagsüber

blieb der Himmel wolkenlos; aber bis in ca. 1900 m Höhe lag ein Nebelmeer, und teilweise stieg der Nebel auf, den Alpengarten mehr oder weniger einhüllend, besonders um Mittag. Kein Wind. Der Schnee an der Schattenseite blieb teilweise liegen, und von 17 Uhr an begann der Boden zu gefrieren.

Wie die Temperaturkurven zeigen (Abb. 69), macht sich die vorübergehende Vernebelung in den Ablesungen um 13 Uhr und an der freien Luft auch um 11 Uhr geltend; sonst verhält sich der Tag wie ein richtiger Strahlungstag. Die Aufwärmung dauert, entsprechend der Dauer der Besonnung, nicht sehr lange; sie beginnt um 7 Uhr und ist um 15 Uhr zu Ende, bringt aber an der freien Luft, auf der Bodenoberfläche und in 2 cm Bodentiefe kräftige Gipfelwerte und eine ausgesprochene Differenzierung der Kurven mit sich. In 30 cm über dem Boden liegen die nächtlichen Minima rund 10° unter dem Gefrierpunkt; am wärmsten sind vorderes Empetretum und Windecke. Die Erwärmung erreicht die Höchstwerte um 9 oder 10 Uhr. Sie ist am niedrigsten im Empetretum, wo auch ein sehr rascher Temperaturabfall eintritt, so daß im hinteren Empetretum der Nullpunkt bereits um 10 Uhr, im vorderen Empetretum um 12 Uhr erreicht wird. Um 14 Uhr steigen allerdings in beiden Stationen die Temperaturen nochmals um wenig über den Nullpunkt an. Die Kurven der vier andern Stationen distanzieren sich von 8—16 Uhr deutlich von denen des Empetretums durch höhere Aufwärmung und langsameren Temperaturabfall, wobei die Windecke die niedrigsten Werte aufweist. Von 16 Uhr an verlaufen die Kurven wieder in einem engen Bündel, das um 20 Uhr zwischen 4° und 6° unter dem Gefrierpunkte verläuft. Auf der Bodenoberfläche haben wir an diesem Tage die schärfste Ausprägung der verschiedenen Standorte, die wir festgestellt haben. Während im Empetretum die Temperatur den ganzen Tag durch annähernd gleich hoch und in der Nähe des Nullpunktes blieb, der nur um 14 Uhr um 1° überschritten wurde, stieg sie im oberen Seslerietum auf 32° , im unteren Seslerietum auf $23,5^{\circ}$, in der Windecke auf 19° und im hinteren Nardetum mit ganz breitem, flachem Kurvengipfel auf $8,5^{\circ}$. Wir setzten an diesem Tage auch zwei Vakuum-Schwarzkugelthermometer ein, die maximal im oberen Seslerietum 47° und im vorderen Empetretum, wo allerdings der Einsatz etwas verspätet er-

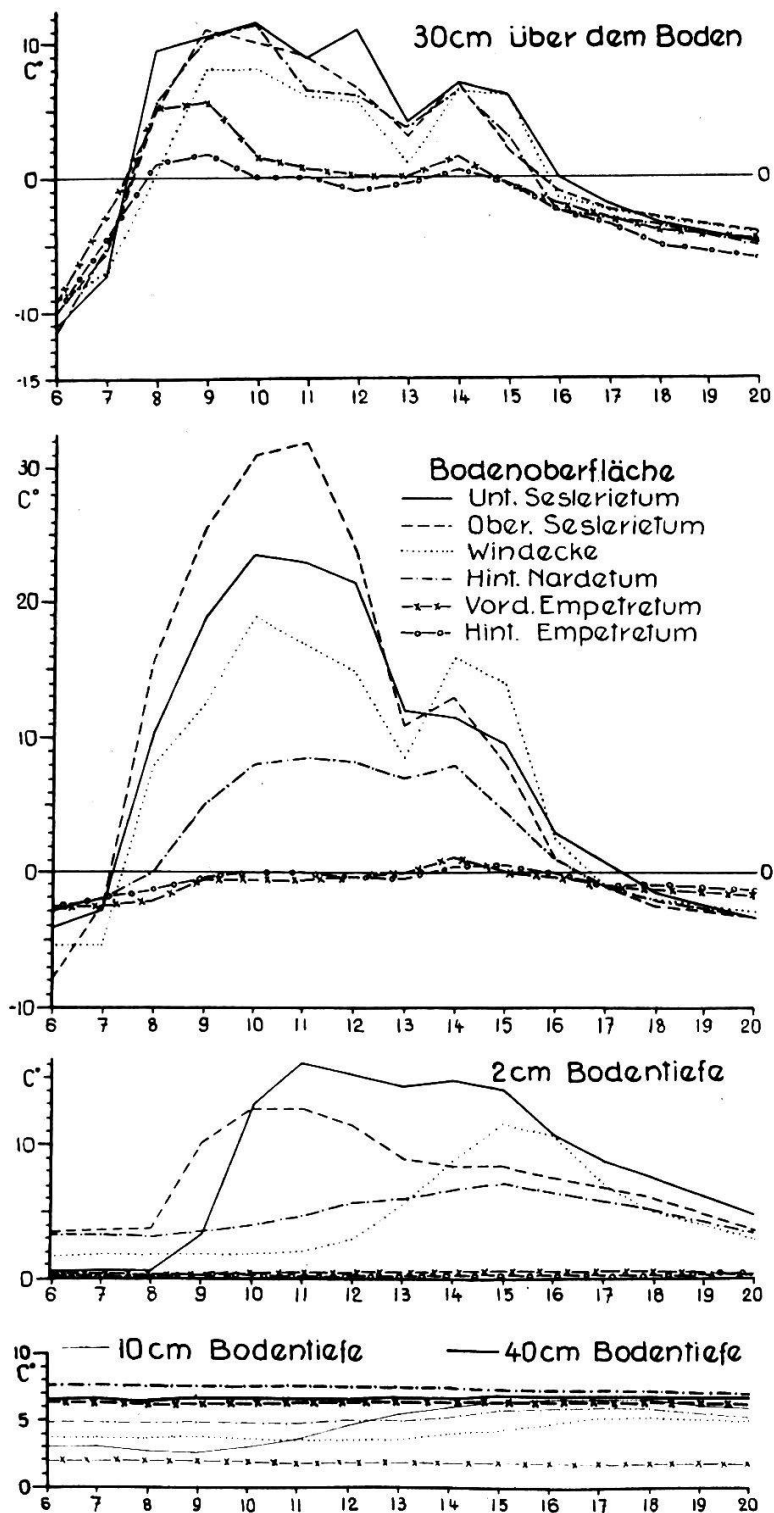


Abb. 69. Stündliche Temperaturwerte in verschiedenen Pflanzengesellschaften am 5. Oktober 1932.

folgte, nur $5,5^{\circ}$ erreichten. Ungefähr von 16 Uhr an verlaufen alle Kurven wieder in einem geschlossenen Bündel, $1-4^{\circ}$ unter dem Nullpunkt, die Empetretumkurven etwas höher als die übrigen. — In 2 cm Bodentiefe hat jede Kurve ihren ganz besonderen Verlauf. Die Temperaturwerte liegen in den beiden Empetretum-Stationen den ganzen Tag um den Nullpunkt ($0,1-0,3^{\circ}$); eine Aufwärmung ist nicht festzustellen. Im Nardetum ist die Aufwärmung unbedeutend (von 3 auf 7°), während in der Windecke $11,5^{\circ}$, im oberen Seslerietum $12,5^{\circ}$ und im unteren Seslerietum 16° erreicht werden. Die Aufwärmung erfolgt ganz ungleich rasch: am frühesten, um 10 Uhr, erreicht sie den Maximalwert mit einem runden Kurvengipfel im oberen Seslerietum, um 11 Uhr, nach steilem Anstieg zu einem flachen Kurvengipfel, im unteren Seslerietum, in der Windecke und im hinteren Nardetum erst um 15 Uhr, wobei in der Windecke zwischen 15 und 16 Uhr ein richtiger Kurvengipfel entsteht, während die Nardetumkurve nur einen ganz flachen Rücken aufweist. — In den größeren Bodentiefen stehen die Temperaturen durchwegs in 10 cm Tiefe niedriger als in 40 cm Tiefe, wo sie sehr gleichmäßig zwischen $6,0^{\circ}$ und $7,6^{\circ}$ verlaufen. Die Temperatur in 40 cm Bodentiefe ist also noch jetzt ebenso hoch oder höher (Empetretum) als im Juni. Im Laufe des Tages ist eine Aufwärmung nur im unteren Seslerietum festzustellen (von $6,4^{\circ}$ auf $6,8^{\circ}$), während die Temperatur im hinteren Nardetum und vorderen Empetretum etwas abnimmt (von $7,6^{\circ}$ auf $7,0^{\circ}$, resp. von $6,2^{\circ}$ auf $6,0^{\circ}$). Das Eindringen der scharfen Kälte in den tieferen Boden ist hier deutlich zu verfolgen, trotz sonnigem Wetter. Die Tagesschwankung in 10 cm Bodentiefe ist gering: Empetretum $0,4^{\circ}$, Nardetum $1,0^{\circ}$, Windecke $1,8^{\circ}$, Seslerietum $3,4^{\circ}$. Die tägliche Erwärmung dringt also nur im Seslerietum noch wesentlich in den Boden ein.

7. Oktober 1932. An diesem Tage wurden während des Vormittags nochmals Temperaturmessungen im Seslerietum und Empetretum durchgeführt. Das Wetter war am Morgen klar, mit starker Reifbildung; um 11 Uhr war die Sonne vorübergehend verschleiert. Die Ergebnisse bestätigen im wesentlichen diejenigen vom 5. Oktober, obschon die Werte infolge der Erhöhung der Lufttemperatur höher liegen. Bereits um 7 Uhr waren die Tempe-

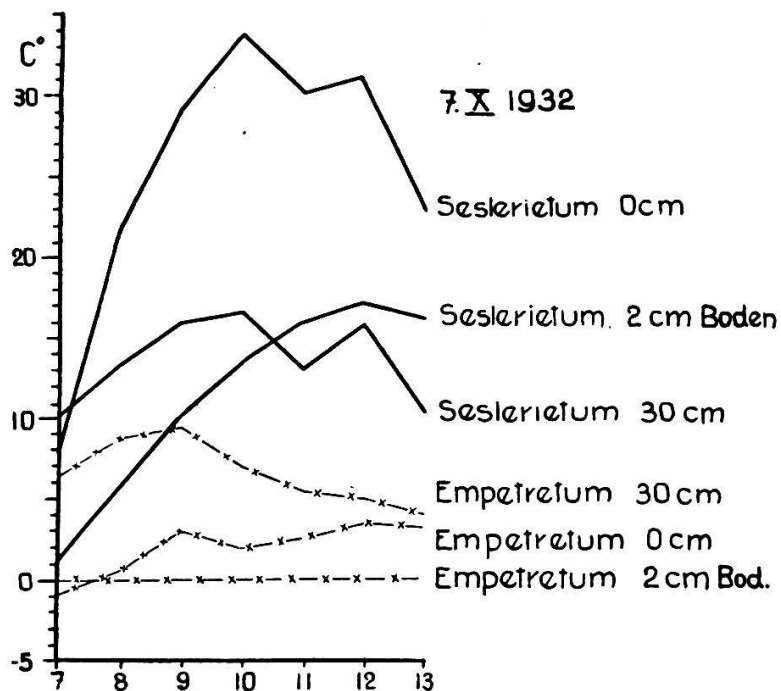


Abb. 70. Stündliche Temperaturwerte im Seslerietum und Empetretum am 7. Oktober 1932. Mittel aus den Werten von je zwei Stationen.

raturen, mit Ausnahme der Bodenoberfläche und 2 cm Bodentiefe, im Empetretum über dem Gefrierpunkt. Das Vakuum-Thermometer im vorderen Empetretum, das diesmal zu gleicher Zeit wie im Seslerietum eingesetzt wurde, steigt nur langsam an und erreicht um 12 und 13 Uhr den maximalen Wert von nur $8,3^{\circ}$, während es im oberen Seslerietum steil ansteigt und um 10 Uhr $48,5^{\circ}$ und um 12 Uhr 51° anzeigt, dann allerdings bis 13 Uhr auf $36,5^{\circ}$ abfällt. Wir haben die Mittelwerte der gemessenen Temperaturen für die beiden Seslerietum- und die beiden Empetretum-Stationen in Abbildung 70 zusammengestellt. Auf den ersten Blick ergibt sich die große Benachteiligung des Empetretums, das in dieser Jahreszeit nur noch wenig Sonne erhält. Die Abbildung zeigt auch schön, wie im Empetretum zur Zeit des Spätherbstes der Boden sich nicht mehr und die Bodenoberfläche sehr wenig erwärmt, die Luft wärmer ist als die Bodenoberfläche, während sich im Seslerietum die sommerliche Wärmeschichtung noch bewahrt hat.

Überblick über den Tagesgang der Temperatur in den verschiedenen Stationen und Jahreszeiten. An der Bodenoberfläche tritt die stärkste Aufwärmung ein, und

die Strahlungseinflüsse nehmen bei der Entfernung zum offenen Luftraum und gegen die Bodentiefe hin ab. Aber auch die tiefsten Minimumwerte werden an der Bodenoberfläche beobachtet. Diese weist somit weitaus die stärksten Temperaturschwankungen auf. Im Boden erscheint die Aufwärmung verzögert, um so stärker, je tiefer wir in ihn eindringen. In 40 cm Bodentiefe sind die täglichen Temperaturschwankungen nur mehr angedeutet. Diese Erscheinungen sind von den Forschern immer wieder gefunden worden und allgemein bekannt (vgl. z.B. E. Rübel, 1912, für Bodentemp.; G. Schreckenthal-Schimitschek, 1935; G. Nétien et A. Quantin, 1939; W. Kreutz und A. Wehrheim, 1942, und zusammenfassend R. Geiger, 1942).

Als allgemeine Regel für die Schinigeplatte ergibt sich an einem sonnigen Tag auf der Bodenoberfläche und in der freien Luft, 30 cm über dem Boden, die rasche Aufwärmung am Morgen und der frühzeitige Temperaturabfall gegen Mittag. So werden die höchsten Temperaturwerte an den der Sonne frei ausgesetzten Thermometern bereits im Laufe des späteren Vormittags erreicht. Der tägliche Temperaturgang weist aber auch für die einzelnen Beobachtungsstationen charakteristische Unterschiede auf. Im Empetretum steigt die Temperatur am Morgen sehr rasch, so daß diese Station oft die Höchstwerte aufweist; sie fällt aber am raschesten wieder ab, und in den mittleren Tagesstunden ist das Empetretum gewöhnlich von allen Stationen am kältesten. Gegen Abend verlangsamt sich der Abfall, und in den Nachtstunden unterscheiden sich die Temperaturen des Empetretums in der freien Luft nicht mehr wesentlich von den übrigen Stationen. Der Boden dagegen ist im Empetretum immer am kältesten. Die Temperaturkurven sind allgemein im Empetretum am flachsten. — Den schärfsten Gegensatz zum Empetretum finden wir im Seslerietum. Hier geschieht die tägliche Aufwärmung am Morgen zwar nicht schneller als im Empetretum; aber sie hält bedeutend länger an und erreicht höhere Werte, besonders an der Bodenoberfläche. Sie geht auch stärker in den Boden hinein. Im oberen Seslerietum werden die höchsten Temperaturen der Bodenoberfläche erreicht; aber in 2 cm Tiefe sind die Temperaturen hier wesentlich niedriger und rascher fallend als im unteren Seslerietum. Die starke Erwärmung der steilen Sonnenhänge in Verbin-

dung mit der bedeutenden nächtlichen Abkühlung steht im Gegensatz zu der Regel, wie sie z. B. Geiger (1942, S. 225) entwickelt. Aber der Treppenhang erschwert wohl den ausgleichenden, vertikalen Luftstrom, was besonders im unteren Seslerietum auffällt (s. auch Verdunstung). So können dort auch Luftstauungen auftreten.

Die Windecke wärmt am Morgen verhältnismäßig langsam auf und bleibt in den Maximalwerten hinter dem Seslerietum zurück. Dagegen findet in dieser Station in ausgesprochener Weise im Verlaufe des Nachmittags nur ein langsamer Temperaturabfall statt. So stehen die Temperaturen in der Regel am Nachmittag und meist auch in der Nacht in der Windecke am höchsten. Diese Eigentümlichkeiten sind wohl auf die topographische Eigenart, die nur bei höherem Sonnenstand stärkere Bestrahlung bringt, aber Luftbewegung begünstigt, in Verbindung mit der lange dauernden Besonnung zurückzuführen. — Die Nardeta weisen einen mittleren Temperaturgang auf.

Im Laufe des Sommers ändert sich im täglichen Temperaturgang insbesondere die Stellung des Empetretums: im Juni erscheinen seine Lufttemperaturen verhältnismäßig günstig, im früheren Vormittag, 30 cm über dem Boden, sogar am günstigsten von allen Stationen. Der Boden dagegen ist noch ausgesprochen kalt, in 40 cm Tiefe nahe dem Gefrierpunkt. Im August hat die Bodentemperatur in 40 cm Tiefe aufgeholt bis $8,5^{\circ}$, bleibt aber hinter den übrigen Stationen immer noch um $3-4^{\circ}$ zurück. Die Erwärmung an der Bodenoberfläche und in 2 cm Bodentiefe aber hat im Vergleich zu den übrigen Stationen bereits stark abgenommen. Im Oktober ist die Temperatur in der größeren Bodentiefe des Empetretums immer noch relativ hoch, nur 1° niedriger als im Seslerietum; aber die tägliche Erwärmung der Bodenoberfläche, der bodennahen Luftschichten und der oberen Bodenschichten ist ganz unbedeutend geworden. Dieses Verhalten ist bedingt durch die Wärmeeinstrahlung, die vom längsten Tag bis in den Oktober im Empetretum viel stärker abgenommen hat als in den übrigen Stationen. Durch den immer schiefer werdenden Einfallswinkel der Strahlung und die starke Verkürzung der Sonnenscheindauer sind diese gegen Nordosten gelegenen Hänge besonders stark benachteiligt. Die geschilderten Verhältnisse ersehen

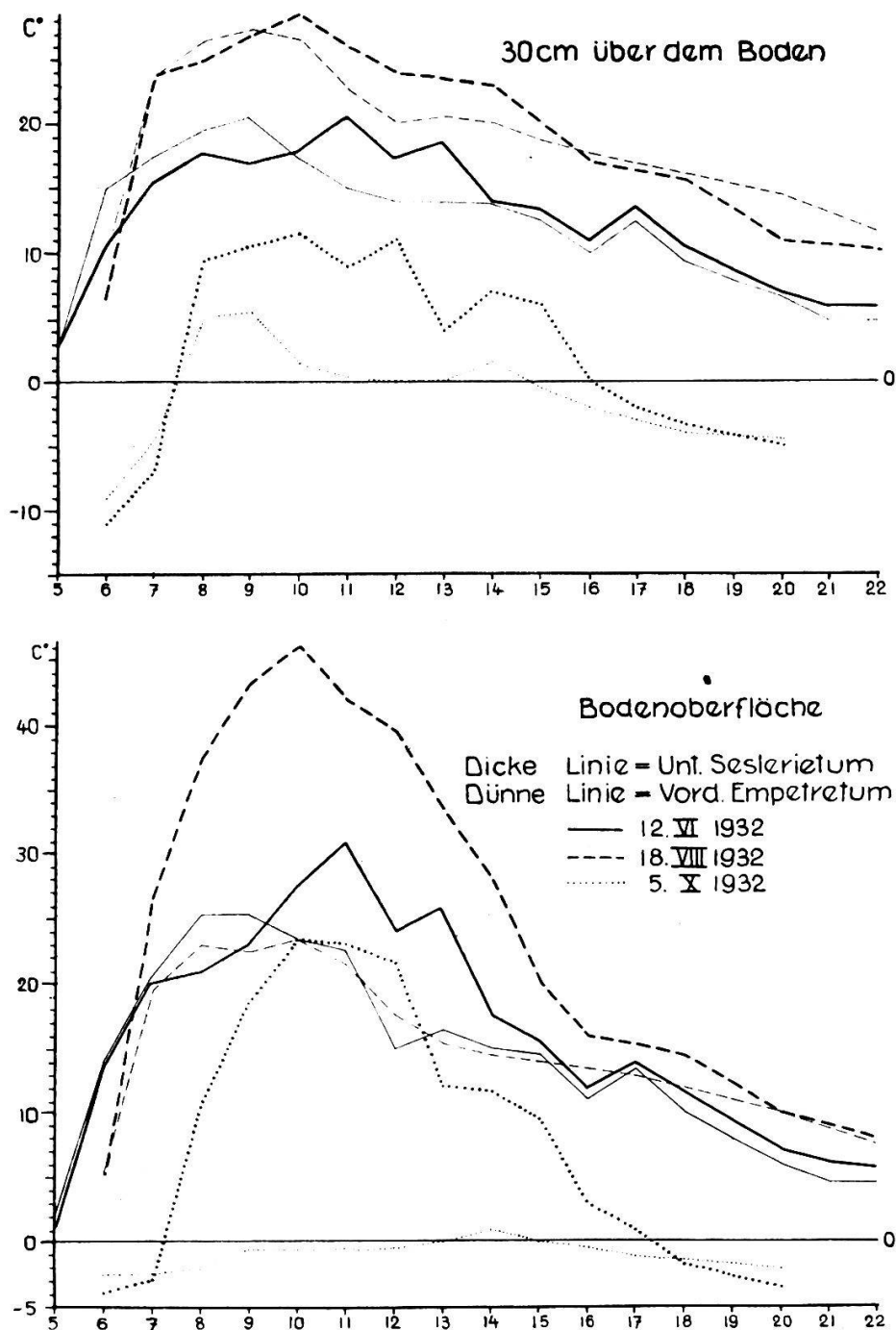


Abb. 71. Stündliche Temperaturwerte im unteren Seslerietum und im vorderen Empetretum am 12. Juni, 18. August und 5. Oktober 1932.

sich sehr anschaulich aus den Abbildungen 71 und 72, in denen für die beiden extremen Stationen, das Seslerietum und das Empetretum, der Temperaturverlauf in der freien Luft, an der Bodenoberfläche und in den verschiedenen Bodentiefen für je einen Tag im Juni, August und Oktober dargestellt ist.

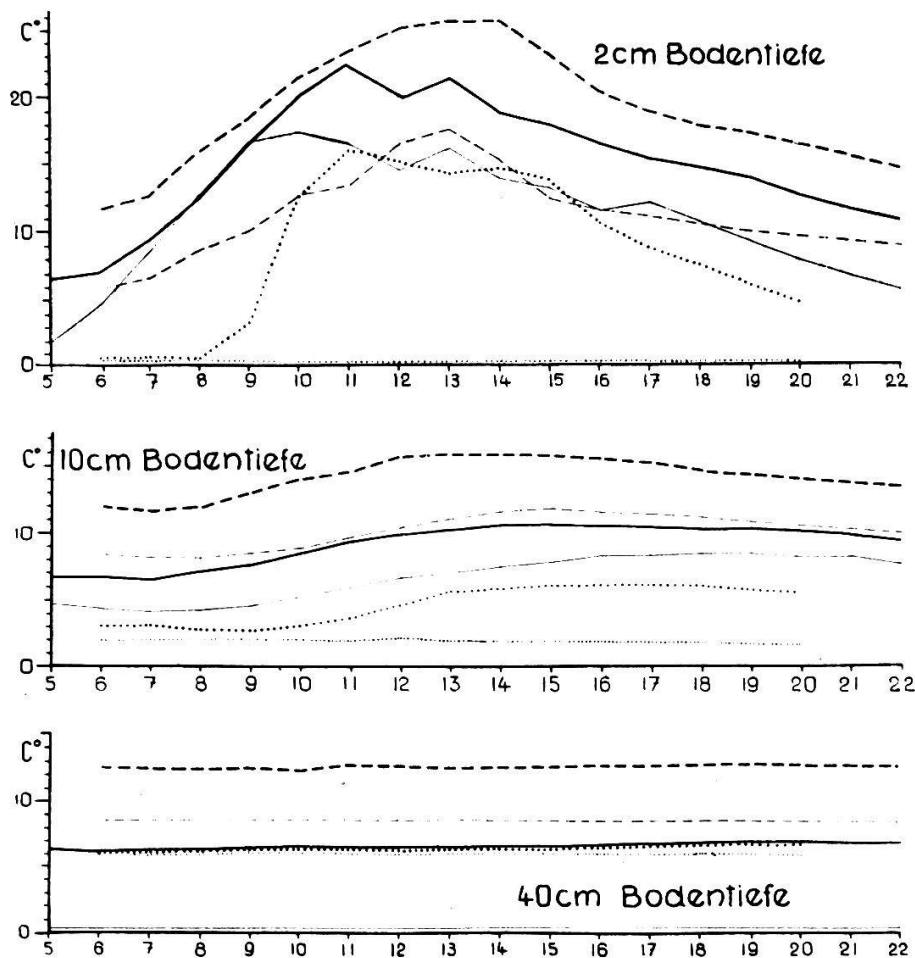


Abb. 72. Stündliche Temperaturwerte im unteren Seslerietum und im vorderen Empetretum am 12. Juni, 18. August und 5. Oktober 1932.

Die sommerliche Begünstigung der Ostlagen und Nordostlagen durch die rasche und kräftige Aufwärmung am Morgen ist wohl in den Alpen vielerorts vorhanden. Sie wird auch von W. K r e u t z und A. W e h r h e i m (1942) bei ihren Untersuchungen im Großglocknergebiet hervorgehoben.

f) *Messung mittlerer Temperaturwerte über größere Zeiträume mittels der Zuckerampullen nach P a l l m a n n, E i c h e n b e r g e r und H a s l e r*

Wasserstoffionen zerlegen Rohrzucker in wässriger Lösung in Traubenzucker und Fruchtzucker. Diese Invertierung wird bei konstanter Wasserstoffionenkonzentration der Zuckerlösung durch die Temperatur beeinflusst: je höher die Temperatur, desto rascher erfolgt die Aufspaltung des Rohrzuckers. Vor kurzem haben H. P a l l m a n n, E. E i c h e n b e r g e r und A. H a s l e r (1940) eine Methode ausgearbeitet, die es erlaubt, aus der Inversionsgröße einer Rohrzuckerlösung die mittlere Temperatur zu berech-

nen, die während der Zeit herrscht, da die Rohrzuckerlösung der Einwirkung der Außentemperatur ausgesetzt war. Kleine Glasampullen werden mit einer sterilen Zucker-Pufferlösung gefüllt und die Ampulle zugeschmolzen (zirka 15 cm³ Lösung in 20 cm³ Ampullenraum). Der Inversionswinkel und die Wasserstoffionenkonzentration der frischen Lösung werden bestimmt. Dann legen wir die Ampullen an die zu untersuchenden Stationen aus und lassen sie während der ganzen Meßperiode unberührt. Nach Abschluß derselben sammeln wir sie ein, öffnen sie und bestimmen den neuen Inversionswinkel. Aus dem ursprünglichen und dem neuen Drehungswinkel, dem Drehungswinkel bei vollständiger Inversion und dem pH der Zuckerlösung sowie der Zahl der Tage der Meßperiode läßt sich nach einer von P a l l m a n n und Mitarbeitern aufgestellten Formel die mittlere Temperatur, die an der betreffenden Lokalität während der Untersuchungsperiode geherrscht hat, berechnen. Für Einzelheiten dieser sehr originellen Methode verweisen wir auf die Veröffentlichungen der Autoren.

Diese Art der Temperaturmessung ist bequem und billig. Wir können ohne große Umstände eine bedeutende Zahl von Meßpunkten aufstellen, und während der Meßperiode verursachen uns diese keine Kontrollarbeit. Die Fehler der Methode sind klein, nur etwa 0,1 %. Immerhin ist zu berücksichtigen, daß den erhaltenen Werten ein Fehler anhaftet, der daraus hervorgeht, daß die Inversionsgeschwindigkeit bei hohen Temperaturen stark zunimmt. Wenn also niedrige und mittlere Temperaturen mit kurzfristigen, hohen Temperaturen wechseln, so wird die Mitteltemperatur der Ampulle höher ausfallen als die Mitteltemperaturen, die der Meteorologe ausrechnet. Die Autoren nehmen an, die Bedeutung dieser Erhöhung der Temperaturwerte sei unbedeutend. Das mag für rein bodenchemische Vorgänge zutreffen, da der Temperatursteigerung auch eine Steigerung dieser Prozesse entspricht («Wirksame Mitteltemperatur»). Das gilt aber für die Pflanzenwelt nur sehr bedingt, indem die Lebensprozesse der Pflanzen sich bei steigender Wärme von etwa 30° an wieder verlangsamen bis zur völligen Starre. In dieser Reaktion der Pflanzen auf die Außentemperatur sind aber artspezifische und wohl auch individuelle Unterschiede vorhanden, die wir noch recht wenig kennen. Die Pflanze sucht sich zwar gegen die schädigende Überhitzung ihres Körpers zu wehren, zum Beispiel durch vermehrte Wasserabgabe. Dies ist aber nur innerhalb bestimmter Grenzen möglich, und es ist anzunehmen, daß an besonnten, trockenen Halden, wie sie von unseren Seslerieta repräsentiert werden, die hohen, den Lebensprozeß verlangsamenen Temperaturen nicht allzu selten auftreten.

Es schien zweckmäßig, mit dieser neuen Methode die mit den Thermometern in unseren Alpengartenstationen erhaltenen Temperaturmittel nachzuprüfen. Prof. Dr. H. P a l l m a n n ließ unserem Vorhaben alle Förderung angedeihen, und Assistent Dr. E. F r e i machte uns die Ampullen bereit und führte uns in die Technik der Berechnungen ein. Wir danken den Herren bestens für ihre Mithilfe.

Die Untersuchung wurde im Sommer 1942 ausgeführt. Wir legten drei Serien von Ampullen aus:

Serie a = ganze Vegetationszeit, 22. VI. bis 2. X. 1942 = 103 Tage

Serie b = 1. Drittel der V., 22. VI. bis 23. VII. 1942 = 31 Tage

Serie c = 3. Drittel der V., 22. VIII. bis 2. X. 1942 = 41 Tage

Wir verlegten die Ampullenstationen an die Orte der mikroklimatischen Temperaturmessungen, also unteres Seslerietum, oberes Seslerietum SE, vorderes Nardetum, hinteres Nardetum, Wind-

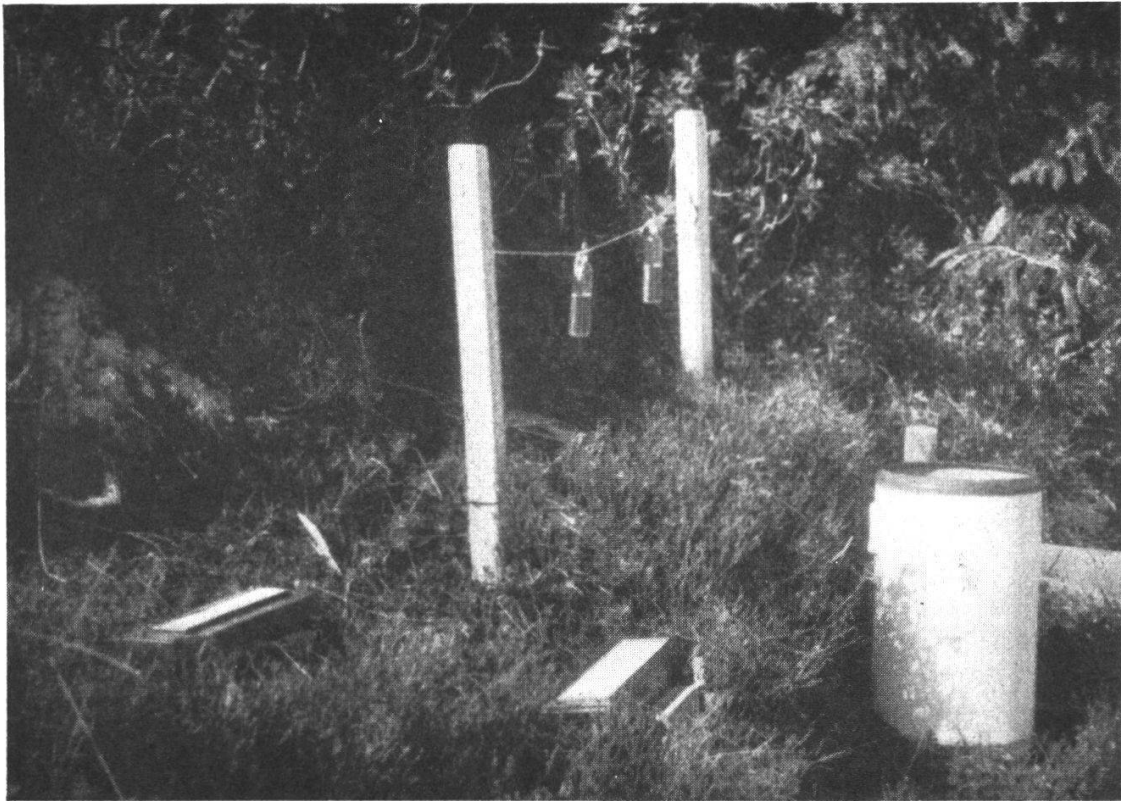


Abb. 73. Mikroklimatische Station im vorderen Empetretum: Zuckerampullen (neben den beiden aufgehängten ist auch eine der auf der Bodenoberfläche liegenden deutlich zu sehen), Regenmesser, Photometer.

ecke, vorderes Empetretum, hinteres Empetretum. Zu diesen sechs Stationen kam noch eine weitere in Südexposition des oberen Seslerietums und eine im schattigen, zwischen Felsen steil E-exponierten Rasenhang des Caricetum ferrugineae, im sogenannten Spalt.

Eine Station der Serie a bestand aus je 2 Ampullen in der freien Luft (ca. 30 cm über dem Boden), auf der Bodenoberfläche, in 2 cm Bodentiefe, in 10 cm Bodentiefe, in 35—40 cm Bodentiefe. Im oberen Seslerietum Süd, in der Windecke und im Caricetum ferrugineae fehlten die Ampullen in 40 cm Bodentiefe, da es dort nicht möglich war, so tief zu graben. Andererseits legten wir auf der Bodenoberfläche des Seslerietums und Empetretums mehr Ampullen aus, unter Berücksichtigung verschiedenartiger Bodenbedeckung (nackt, Rasen, Spaliergesträuch). Die Freiluft-Ampullen waren an einer zwischen zwei Pföstchen ausgespannten Schnur in Ost-West-Richtung frei aufgehängt. Auch die auf der Bodenoberfläche liegenden Ampullen wurden durch eine Schnur in ihrer Lage fixiert. Die Serien b und c bestanden aus je 2 Ampullen, die in den genannten Stationen, mit Ausnahme des Caricetum ferrugineae, in 2 cm Bodentiefe neben den Ampullen der Serie a lagerten. Indem wir in der Regel je 2 Ampullen zur gleichen Messung verwendeten, erhielten wir Parallelwerte, die einen Maßstab für die Genauigkeit unserer Ergebnisse abgeben. Die Aufstellung der Ampullen ersieht man aus den Abbildungen 73 und 74.

Alle Ampullen konnten unbeschädigt entnommen werden. Sie wurden umgehend nach Zürich befördert, dort kühl gelagert und die Zuckerinversion möglichst bald bestimmt. Im Caricetum ferrugineae war eine 2-cm-Ampulle durch Mäuse hervorgewühlt worden, aber offenbar erst kurz vor dem Abschluß der Messung, da ihr Wert von dem der Parallelampulle nur wenig verschieden war, $0,2^{\circ}$ niedriger. Im oberen Seslerietum SE spülte der Regen eine 2-cm-Ampulle zur Hälfte bloß. Wir ließen sie so liegen. Ihr Temperaturwert liegt zwischen der Parallelampulle in 2 cm Bodentiefe und den auf der Oberfläche liegenden Ampullen. Die Werte der Parallelampullen weichen, mit Ausnahme der Bodenoberflächenwerte (s. unten), in der Regel nicht wesentlich voneinander ab, meist nur $0,1$ — $0,2^{\circ}$. Ausnahmen finden sich auch in 2 cm Bodentiefe: Serie a: OSse 1° , VN $1,4^{\circ}$, HN $0,7^{\circ}$, HE 1° ; Serie b: US $2,0^{\circ}$, OSse $0,7^{\circ}$, HE $0,8^{\circ}$; Serie c: OSs $3,3^{\circ}$, VE $1,5^{\circ}$; selten in größerer Bodentiefe (HE, 10 cm, $0,7^{\circ}$, 40 cm = $0,8^{\circ}$) oder in der freien Luft (W $0,7^{\circ}$). Der eine oder andere



Abb. 74. Mikroklimatische Station im hinteren Nardetum: Zuckerampullen (beide auf der Bodenoberfläche liegenden Ampullen sind sichtbar), Regenmesser, Photometer, Tauplatten.

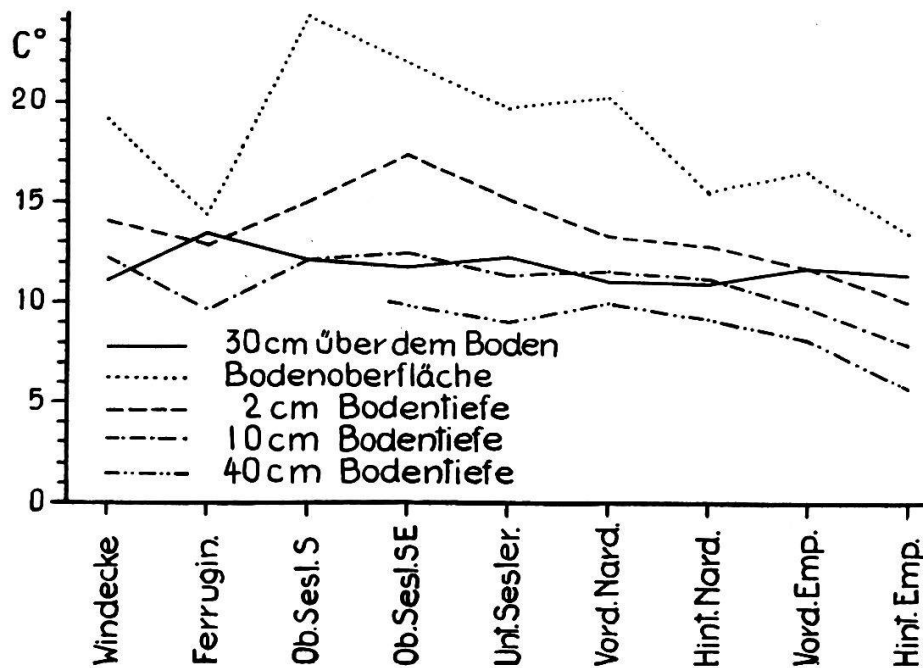


Abb. 75. Mittlere Temperaturen, in den verschiedenen Pflanzengesellschaften, während des Sommers 1942, mit den Zuckerampullen gemessen.

dieser abweichenden Werte mag durch einen Fehler in der Beobachtung des Inversionswinkels bedingt sein; in der Regel werden sie aber wirklichen Schwankungen in der Erwärmung entsprechen. Diese spielen in 2 cm Bodentiefe noch eine wesentliche Rolle, namentlich infolge verschiedener Art der Bodenbedeckung. Es ist auch schwierig, die 2 cm Bodentiefe genau einzuhalten.

In der nachfolgenden Tabelle 69 und in Abbildung 75 bringen wir die Ergebnisse der Hauptserie a, also der Ampullen, die während der ganzen Vegetationsperiode exponiert waren.

TABELLE 69

Temperaturmittelwerte vom 22. VI. bis 2. X. 1942,
gemessen mit Temperaturampullen in verschiedenen Bodentiefen.

Station	25-30 cm üb. Boden C°	Boden- Oberfläche C°	2 cm Bodentiefe C°	10 cm Bodentiefe C°	40 cm Bodentiefe C°
Unteres Seslerietum	12,1	19,7	15,2	11,3	9,0
Oberes Seslerietum SE	11,7	21,9	17,4	12,5	10,0
Oberes Seslerietum S	12,1	24,2	15,0	12,1	—
Windecke	11,1	19,1	14,0	12,2	—
Vorderes Nardetum	11,0	20,2	13,3	11,5	9,9
Hinteres Nardetum	10,9	15,6	12,8	11,2	9,2
Caricetum ferrugineae	13,4	14,3	12,9	9,6	—
Vorderes Empetretum	11,7	16,5	11,7	9,8	8,1
Hinteres Empetretum	11,3	13,5	10,0	7,9	5,7

Die Zahlen sind meist Mittelwerte von 2 Ampullen. Jede Station hat ihre höchsten mittleren Temperaturwerte an der Bodenoberfläche. Hier finden wir auch die stärksten Schwankungen in den Werten, die zum Teil durch 3—4 nebeneinanderliegende Ampullen belegt sind:

Unteres Seslerietum	18,3—21,0°
Oberes Seslerietum SE (3 Ampullen)	19,9—23,1°
Oberes Seslerietum S (4 Ampullen)	20,4—26,7°
Windecke	17,7—20,5°
Vorderes Nardetum	19,1—21,3°
Hinteres Nardetum	14,3—16,9°
Caricetum ferrugineae	14,1—14,4°
Vorderes Empetretum	15,9—17,0°
Hinteres Empetretum (3 Ampullen)	13,4—13,6°

Sie sind also klein im Caricetum ferrugineae und im Empetretum, das heißt in den kühlen, verhältnismäßig wenig besonnten Standorten und werden um so größer, je größer die Aufwärmung der Bodenoberfläche wird. Es sind wohl kleine Unterschiede in der Exposition und in der Beschaffenheit der Bodenunterlage, die sich da auswirken. Wir haben versucht, durch Auflegen von Ampullen auf bewachsenen und unbewachsenen Boden im Empetretum und im Seslerietum eventuelle Unterschiede in der Erwärmung festzustellen. Es ergab sich folgendes:

Vorderes Empetretum: bewachsen niedrigster Wert.

Hinteres Empetretum: bewachsen und unbewachsen ungefähr gleich hoher Wert.

Oberes Seslerietum SE: unbewachsen höchster Wert.

Oberes Seslerietum S: mit Gras bewachsen niedrigster Wert; nackt mittlerer Wert; mit Erica bewachsen höchster Wert.

Die wenigen Messungen genügen nicht, um eine Gesetzmäßigkeit sicherzustellen. Aber auch andere Forscher fanden bei unbewachsenem Boden die Temperaturen höher, mit stärkeren Extremen (s. Geiger, 1912, S. 166 ff.). Die Vegetation wirkt auf die bodennahe Luftschicht und die oberflächliche Bodenschicht in hohem Maße ausgleichend.

Gegenüber der Bodenoberfläche zeigt sich sowohl in der freien Luft, 30 cm über dem Boden, als auch in der Erde eine bedeutende Temperaturabnahme, die mit steigender Bodentiefe zunimmt. In den stärker bestrahlten Stationen (Seslerietum, Windecke, Nardetum) ist die Lufttemperatur niedriger als die Temperatur in 2 cm Bodentiefe; in den schwächer bestrahlten ist sie gleich hoch oder höher (Caricetum ferrugineae, Empetretum). Im ganzen ge-

nommen ist die Lufttemperatur ausgeglichen und schwankt nur um etwa 1°. Eine Ausnahme macht das Caricetum ferrugineae, dessen Temperatur 30 cm über der Bodenoberfläche 1,3° höher ist als bei jeder andern Station. Die Ursache ist zum Teil in der Rückstrahlung von den benachbarten Felsen zu suchen, vielleicht auch in der schwachen Luftbewegung in dieser geschützt liegenden Station.

In 2 cm Bodentiefe ist eine abfallende Temperaturreihe vom oberen Seslerietum über das untere Seslerietum, die Windecke, das vordere und hintere Nardetum, das Caricetum ferrugineae zum Empetretum vorhanden. Das hintere Empetretum steht 7,4° unter dem oberen Seslerietum SE. Die gleiche Reihe findet sich auch in 10 cm Bodentiefe; doch sondert sich hier eine stärker besonnene Gruppe von einer schwächer besonnten ab. In den stärker erwärmten Stationen liegen die 10-cm-Bodentemperaturen zwischen 11,2 und 12,5°, wobei die Windecke an zweite Stelle hinter das führende Seslerietum SE vorrückt, in den schwächer erwärmten zwischen 7,9 und 9,8°. In den stärker erwärmten Stationen stehen die Temperaturen in 10 cm Bodentiefe ungefähr gleich hoch wie 30 cm über dem Boden, in den schwächer erwärmten wesentlich tiefer. In 40 cm Bodentiefe sind die Empetretum-Temperaturen deutlich niedriger als die übrigen. Besonders das hintere Empetretum bleibt auffallend zurück.

In der Tabelle 70 bringen wir die mittleren Temperaturwerte, die sich für 6 Stationen in 2 cm Bodentiefe für kürzere Zeitperioden, den Vorsommer, den Hochsommer und den Nachsommer—Herbst ergeben.

TABELLE 70

Temperaturmittelwerte für die einzelnen Zeitperioden des Sommers 1942, gemessen mit Temperaturampullen in 2 cm Bodentiefe.

Station	22. VI.—23. VII.	23. VII.—22. VIII.	22. VIII.—2. X.
Unteres Seslerietum	14,0	15,9	15,6
Oberes Seslerietum SE	17,6	17,3	17,3
Windecke	13,8	14,3	13,9
Hinteres Nardetum	13,3	12,9	12,6
Vorderes Empetretum	12,9	12,8	10,0
Hinteres Empetretum	10,2	10,4	9,6

Die Zahlen der ersten und dritten Periode wurden durch direkte Messungen ermittelt (Serie b und c), die der zweiten

Periode durch Subtraktion der Summe der Drehungswinkel von erster und dritter Periode von dem der ganzen Beobachtungszeit. Die Unterschiede zwischen den drei Zeitperioden sind nicht bedeutend und nicht einheitlich. Im Hochsommer zeigt nur das untere Seslerietum eine wesentliche Steigerung ($1,9^{\circ}$), während das obere Seslerietum und das hintere Nardetum sogar einen kleinen Abfall aufweisen gegenüber dem Vorsommer. Auffallend ist namentlich der schwache Abfall im Nachsommer und Herbst; in Seslerietum, Nardetum und Windecke ist er kaum merklich und erreicht auch im Empetretum, das allerdings stärker abfällt, keine hohen Beträge.

Zur Beurteilung dieser Verhältnisse müssen wir den allgemeinen Witterungscharakter kennen. Leider wurden im Sommer 1942 im Alpengarten keine Wetterbeobachtungen ausgeführt. Den Annalen der Eidgenössischen Meteorologischen Zentralanstalt entnehmen wir aber die folgenden Angaben: Die Temperaturen im Juni, Juli und August waren normal oder zeigten leichten Wärmeüberschuß. September und Oktober waren ungewöhnlich warm, mit einer Abweichung vom normalen Mittel von mehr als 2° , im Oktober bis 4° . Dieser ungewöhnlich warme Nachsommer und Herbst erklärt unsere hohen Temperaturwerte für die dritte Teilperiode. Unter normalen Verhältnissen wären jedenfalls die Temperaturwerte der 3. Meßperiode wesentlich niedriger ausgefallen, besonders im Empetretum, das um diese Jahreszeit nur noch wenig Sonne empfängt. Aber auch die Temperaturen der ganzen Vegetationsperiode stehen jedenfalls merklich über dem langjährigen Mittel.

Vergleichen wir jetzt die Ergebnisse der Ampullenmessungen noch mit denjenigen der Thermometer-Messungen, die wir 1931 und 1932 an den gleichen Standorten ausgeführt haben. Im Jahre 1931 waren die Temperaturverhältnisse im Monat September sehr ungünstig. Im folgenden Jahre war umgekehrt der September, wie bereits der August, durch einen Wärmeüberschuß ausgezeichnet, der Juni und auch der Juli dagegen kalt. Wir dürfen also für beide Jahre in den mittleren Temperaturverhältnissen der ganzen Vegetationsperiode etwas niedrigere Werte erwarten als im Jahre 1942. Ein genauer Vergleich ist nicht mög-

lich, da wir mit den Thermometern 1931 einzelne Terminwerte maßen (7.30, 13.30), dazu die Minima und Maxima auf der Bodenoberfläche und 30 cm darüber, im Jahre 1932 nur die Minima und Maxima auf der Bodenoberfläche und 30 cm darüber, sowie für die Erdbodenthermometer einen einzigen Wert, der dem Maximumwert nahelag, im Jahre 1942 dagegen mittels Zuckerampullen die mittlere Temperatur aus einer Art Temperatursumme berechneten. Man kann aber aus dem Maximumwert und dem Minimumwert der Thermometer einen Temperaturwert bilden, der der mittleren Temperatur benachbart ist (Mittel aus $1 \times \text{Maximum} \pm 2 \times \text{Minimum}$: im allgemeinen etwas niedriger als das gewöhnliche meteorologische Mittel). Für die Bodentemperaturen können wir im Jahre 1931 in gleicher Weise vorgehen, da die beiden gemessenen Werte ungefähr dem Minimum und dem Maximum entsprechen. So ist doch eine Vergleichung in der Größenordnung und namentlich auch in der Rangordnung der Stationen und im Temperaturverlaufe möglich.

Für die Temperatur in 30 cm über dem Boden erhalten wir im Jahre 1932 Werte, die in der Größenordnung den Ampullenwerten entsprechen, im Jahre 1931 dagegen wesentlich darunter bleiben. In der Rangordnung steht die Windecke in beiden Jahren in den Thermometerwerten höher als in den Ampullenwerten. Auf der Bodenoberfläche stimmen die Stationen in der Rangordnung nach den beiden Methoden im Jahre 1932 ungefähr überein; im Jahre 1931 erscheint das hintere Nardetum im Vergleich mit den Ampullenmessungen zu niedrig, das vordere Empetretum zu hoch. Doch sind alle die Ampullenwerte sehr viel höher als die Thermometerwerte, so daß jeder quantitative Vergleich unmöglich wird. So ergibt das untere Seslerietum auf der Bodenoberfläche mit der Ampulle 1942 im Mittel $19,7^\circ$, mit dem Thermometer nach der angegebenen Berechnungsmethode im Jahre 1931 $8,8^\circ$ und im Jahre 1932 $13,1^\circ$. Mit dem Thermometer gemessen wird die Mitteltemperatur auch an heißen Tagen nie den Wert erreichen, den die zeitweilig stark erhitzte Ampulle angibt. Wir bekommen z. B. für den 18. VIII. 1932, an dem stündliche Ablesungen von 6 Uhr bis 20 Uhr vorgenommen wurden, bei Interpolation der Nachtwerte, die keinen merklichen Fehler mit sich bringt, auf der Bodenoberfläche eine Mitteltemperatur von $18,6^\circ$ im unteren Ses-

lerietum und $19,4^{\circ}$ im oberen Seslerietum. Das war einer der heißesten Tage während aller unserer Beobachtungen auf der Schinigeplatte. Diese Werte sind niedriger als die Ampullenmitteltemperatur des ganzen Sommers 1942 in den gleichen Gesellschaften, die auch den kühlen Vorsommer und Herbst sowie alle kalten Schlechtwetterperioden einschließt. Und dabei enthalten unsere Thermometerwerte auch bereits einen Strahlungsfaktor, der durch Erwärmung des Thermometers eine Temperatursteigerung bewirkt.

Auch in 2 cm Bodentiefe macht sich die Einwirkung der kurzfristigen Hochttemperaturen auf die Ampullen noch geltend; die Ampullentemperaturen liegen beim Vergleich mit dem Jahre 1931 den Mittagstemperaturen nahe, etwas höher oder etwas tiefer. Doch fällt die Windecke durch einen niedrigen Thermometerwert aus der Rangordnung. Im Jahre 1932 stehen die Thermometerwerte des Mittags $2,3$ — $3,7^{\circ}$ über den Ampullenwerten, bei vermutlich annähernd den gleichen Temperaturmitteln. Diesmal fällt die Thermometerstation oberes Seslerietum durch einen sehr tiefen Wert aus der Reihe. Man könnte annehmen, ein fehlerhaftes, zu tief zeigendes Thermometer sei im Jahre 1931 in der Windecke und im Jahre 1932 im oberen Seslerietum verwendet worden. Es gab aber nie ein Erdbodenthermometer mit einem Fehler, der einen Zehntelgrad überschritten hätte, und die Schwankungen, die wir bei den Thermometermessungen verschiedentlich erwähnten, müssen die tatsächlichen Verhältnisse wiedergeben.

In 10 cm Bodentiefe bleibt die Rangordnung der Stationen nach beiden Meßmethoden die gleiche. Doch sind die Ampullenwerte immer noch etwas höher als die Thermometerwerte, im Mittel des Sommers 1942 ungefähr gleich den Mittagswerten des wärmsten Monats von 1931 und den mittleren Mittagswerten des Jahres 1932. Vielleicht entspricht aber dieser Unterschied angenähert der wirklichen Temperaturdifferenz der Jahre. Für 40 cm Bodentiefe, wo eine direkte Vergleichung möglich ist, dürfte dies der Fall sein, da extreme Temperaturwerte in dieser Bodentiefe fehlen und die täglichen Temperaturschwankungen so gering sind, daß eine Messung im Tag genügt, um einen mittleren Wert zu erhalten. Hier sind die Thermometertemperaturen der Jahre 1931 und 1932 im unteren Seslerietum und hinteren Nar-

detum um höchstens $0,5^{\circ}$ vom Ampullenwert des Jahres 1942 verschieden. Nur das vordere Empetretum macht eine kleine Ausnahme. Seine Thermometertemperatur bleibt im Jahre 1931 um $1,4^{\circ}$, im Jahre 1932 (VII.—IX.) um $1,0^{\circ}$ hinter der Ampullen-temperatur von 1942 zurück, was sehr wohl den wirklichen Verhältnissen entsprechen kann.

Ganz allgemein ist also die Rangordnung der Stationen nach ihren Temperaturen bei der Messung mit den Ampullen oder dem Thermometer die gleiche, während die absoluten Werte der Mittel-temperaturen nur im Boden einigermaßen übereinstimmen. 30 cm über dem Boden und noch mehr an der Bodenoberfläche sind die Ampullenwerte des Jahres 1942 ganz bedeutend höher als die Thermometerwerte der Jahre 1931 und 1932. Diese höheren Ampullentemperaturen entsprechen zum Teil der höheren Wärme, die im Sommer 1942, verglichen mit den Sommern 1931 und 1932, herrschte, zum größeren Teil sind sie aber auf kurzfristige, hohe Temperaturen infolge der Strahlungswirkung der Sonne zurückzuführen, durch welche die Zuckerinversion stark gefördert wurde. Im einzelnen sind diese Temperaturimpulse nicht zu überblicken. Sie müssen aber namentlich auf der Bodenoberfläche die Zuckerinversion und damit die von den Ampullen angegebenen Mittel-temperaturen beträchtlich über die Thermometerwerte hinaus gesteigert haben. Wir können somit von Thermometermessung und Ampullenmessung herrührende Temperaturmittelwerte nur vergleichen, wenn solche kurzfristige, hohe Temperaturwerte fehlen oder doch nicht von Einfluß sind.

Zum Vergleich mit unseren Ampullenmessungen können wir nur die von Pallmann und Frei (1943) im Nationalpark ausgeführten und veröffentlichten Untersuchungen herbeiziehen, die allerdings in einem anderen Jahr (1940/41) und in Waldgesellschaften ausgeführt worden sind. Die Meereshöhe ist nicht wesentlich verschieden. Der Vergleich wird in der Größenordnung möglich sein. Die Autoren fanden vom 20. VI. bis 31. VII. 1941 die in Tabelle 71 zusammengestellten Mitteltemperaturen:

TABELLE 71

Mit Zuckerampullen in Waldgesellschaften des Nationalparkes
durch H. Pallmann und E. Frei festgestellte Mitteltemperaturen.

	150 cm über Boden C°	Boden- Oberfläche C°	10 cm Bodentiefe C°
Mugeto-Caricetum humilis (ganz offener Baumbestand)	16,2	29,1	17,6
Mugeto-Ericetum nudum (lockerer Wald)	15,0	25,5	11,8
Mugeto-Rhodoretum hirsuti (dichter Wald, Schattenseite)	(14,5)	17,2	9,5
Rhodoreto-Vaccinietum cembretosum (dichter Wald, Schattenseite)	12,8	10,8	9,0

Die Temperaturwerte des Juni/Juli 1941 lagen nach den Annalen der Eidgenössischen Meteorologischen Zentralanstalt ca. 1° über dem langjährigen Mittel. Wir finden hier die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie auf der Schinigeplatte. Die höchsten Temperaturen sind auf der Bodenoberfläche der Sonnseite zu finden, und die Temperatur im Luftraum nimmt auf der Schattenseite viel weniger stark ab als die der Bodenoberfläche. Die Mittelwerte der Temperaturen sind in der Sonnenlage wesentlich höher als auf der Schinigeplatte, wohl als Folge der geringeren Himmelsbedeckung in dem zentralalpinen Unterengadin, und dürften ebenfalls infolge der durch hohe Strahlungswirkung beschleunigten Zuckerinversion zu hohe Werte vortäuschen. Auf der Schattenseite und im Boden dagegen erhielten Pallmann und Frei ungefähr gleiche Werte wie wir im Alpengarten Schinigeplatte.

5. Die Windverhältnisse

Die allgemeinen Windverhältnisse des Schinigeplattegebietes haben wir bereits kennengelernt (S. 202). In den einzelnen Teilen des Alpengartens wirkt sich der von außen eindringende Luftstrom recht ungleich aus und beeinflusst in erheblichem Maße die Lokalttemperaturen, die Luftfeuchtigkeit und namentlich die Verdunstung. Wir haben die lokale Windverteilung im Alpengartengebiet nicht systematisch studiert, haben aber doch im Juni 1932 eine Anzahl Windmessungen in den verschiedenen Teilen des Alpengartens, meist an die meteorologischen Beobachtungsstationen angelehnt, durchgeführt.

Zur Messung der Luftbewegung benützten wir zwei Anemometer. Das eine Instrument blieb andauernd an der Windecke, der Stelle, wo wir die stärkste Windbewegung vermuteten; das andere wechselte seinen Standort, so daß wir im Laufe der Untersuchungen die Windstärke verschiedener Punkte des Alpengartens mit derjenigen der Windecke vergleichen konnten. Die Werte sind nach den Fehlertabellen der Instrumente bereinigt, und verschiedene Nachprüfungen zeigten, daß die Angaben der beiden Anemometer nur wenig voneinander abweichen, gewöhnlich weniger als 5 %. Die Ergebnisse sind also wohl vergleichbar. Zur Vornahme der Messungen wurden die Anemometer auf einen kurzen Pflock aufgeschraubt und dieser in den Erdboden eingesteckt, so daß sich das Windrädchen etwa 50 cm über dem Boden befand. In der Regel wurden die Instrumente 5 Minuten laufen gelassen und dann der Mittelwert des Windes für 1 Sekunde berechnet.

Die Ergebnisse sind in der nachstehenden Tabelle 72 zusammengestellt. Zur Beobachtung gelangten nur kleinere und mittlere Windstärken, wie sie für das Gebiet der Schinigeplatte charakteristisch sind. Mit Ausnahme des letzten Tages wehte der Wind aus der nördlichen Richtung. Bei der Besprechung des Allgemeinklimas haben wir hervorgehoben, daß dies im Gebiet des Alpengartens die weitaus häufigste Windrichtung ist, weil auch die westlichen Winde in der Regel von dem im Westen dem Alpengarten vorgelegenen Gebirgsgrat abgelenkt werden und vom Norden hereinwehen. In den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt ist die nächstgelegene Station, für welche die Windrichtungen angegeben sind, Bern. Diese Station meldete an den Beobachtungstagen vorwiegend nördliche Windströmungen; doch am 10. VI. WNW, am 13. ESE. Andere Stationen, wie die Rigi, sind bereits mehr abweichend. Es bleibt die Möglichkeit bestehen, daß an einzelnen Beobachtungstagen, da wir Nordwind verzeichneten, generell mehr westliche Winde wehten. Für unser Problem der Differenzierung der Windstärken im Alpengarten ist diese Unsicherheit nicht von Bedeutung.

Naturgemäß sind im allgemeinen die dem Winde abgekehrten Gartenteile windstillter als die dem Winde zugekehrten oder die flachen Böden. Unsere Tabelle zeigt, daß in bezug auf die Windstärke im Alpengarten immer die sogenannte Windecke die größten Werte aufweist. Nur ein einziges Mal ist das vordere Nardetum um ein wenig windiger. Diese Windecke ist ein gegen Osten vorgeschobener Bergsporn mit senkrecht abfallender Felswand, an die der Nord- und Ostwind anprallen. Sie trägt, wie auch der anschließende Gratrand, vor allem Dryas-Spalierrasen (vgl. Vegetationskarte, Abb. 3). Die weiter westlich im mittleren

TABELLE 72

Windstärke an verschiedenen Punkten des Alpengartens im Verhältnis zu derjenigen an der Windecke. Messungen vom Juni 1932. Angaben in Metern pro Sekunde. Q = Quotient aus Windstärke der Windecke / Windstärke des Vergleichsstandortes.

Zeit	Windverhältnisse	Windstärke a. d. Windecke	Standort des 2. Anemometers	Windstärke a. St. d. 2. Anemometers	Q.
9. VI. 1530—1540	anhaltender, ziemlich kräftiger N-Wind (Beauf. ca. 3)	4,08	Vord. Empetr.	2,01	0,49
1600—1605		3,48	Vord. Empetr.	1,13	0,32
1610—1615		5,13	Ob. Sesler., SSE	0,58	0,11
1615—1620		4,20	Vord. Nardet.	2,56	0,61
1625—1630		5,23	Unt. Sesler., E	0,84	0,16
10. VI. 1400—1405	mäßiger, anhaltender N-Wind (Beauf. ca. 3)	4,66	Vord. Empetr.	1,64	0,35
1410—1415		2,96	Ob. Sesler., SE	0,58	0,20
1415—1420		3,73	Vord. Nardet.	1,48	0,40
1425—1430		4,08	Unt. Sesler., E	1,43	0,35
1430—1435		3,75	Ob. Sesler., SSW	0,82	0,22
1435—1440		3,00	Kuppe	2,95	0,98
11. VI. 1350—1355	leichter Nordwind mit Stößen aus NE (Beauf. 2—3)	3,20	Unt. Sesler., E	0,71	0,22
1355—1400		2,54	Vord. Nardet.	1,13	0,44
1405—1410		3,80	Ob. Sesler., SSE	1,00	0,26
1410—1415		1,96	Kuppe	1,35	0,69
1420—1425		1,76	Hint. Nardet.	1,66	0,94
1425—1430		3,56	Vord. Empetr.	1,81	0,51
12. VI. 1415—1420	mäßiger NE-Wind (Beauf. ca. 2)	3,30	Unt. Sesler., E	0,81	0,25
1420—1425		3,05	Vord. Nardet.	1,70	0,56
1430—1435		2,60	Ob. Sesler.	0,90	0,35
1435—1440		1,35	Kuppe	0,90	0,67
1440—1445		3,80	Hint. Nardet.	1,86	0,49
1450—1455		3,28	Vord. Empetr.	1,06	0,32
13. VI. 1350—1355	mäßiger NE-Wind (Beauf. 2)	2,55	Unt. Sesler., E	0,25	0,10
1355—1400		4,21	Vord. Nardet.	1,85	0,44
1400—1405		2,33	Ob. Sesler.	1,40	0,60
1410—1415		3,30	Kuppe	1,64	0,50
1415—1420		1,95	Hint. Nardet.	1,49	0,76
1420—1425		2,86	Vord. Empetr.	1,13	0,39
13. VI. 1830—1855	Nordwind, böig (Beauf. 3—)	5,26	Hint. Nardet.	1,96	0,37
1855—1900		5,06	Ob. Sesler.	1,35	0,27
1900—1905		5,35	Unt. Sesler.	0,80	0,15
15. VI. 1815—1820	Süd- bis Südwestwind, böig, nach einem Gewitter (Beauf. 2—3)	4,98	Unt. Sesler.	2,57	0,52
1820—1825		2,86	Vord. Nardet.	3,00	1,05
1830—1835		3,45	Ob. Sesler.	2,35	0,68
1835—1840		2,51	Hint. Nardet.	1,88	0,75
1840—1845		2,03	Vord. Empetr.	1,16	0,57
1845—1850		3,03	Hint. Empetr.	1,65	0,54
1850—1855		2,21	Kuppe	1,69	0,77

Kuppe = höchster Punkt des Rückens im mittleren Gartenteil.

TABELLE 73

Relative Windstärken der verschiedenen Beobachtungsstationen,
bezogen auf die Windecke als Einheit.

Ort	Windecke	Unt. Sesler.	Ober. Sesler.	Vord. Nardet.	Hint. Nardet.	Vord. Empetr.	Hint. Empetr.	Kuppe
Bei N- u. NE-Wind (Mittelwerte)	1,00	0,21	0,27	0,49	0,64	0,40	—	0,71
Bei S-Wind	1,00	0,52	0,68	1,05	0,75	0,57	0,54	0,77

Teil des Gartens gelegene kleine Kuppe weist trotz ihrer höheren Lage kleinere Windstärken auf.

Vergleichen wir die übrigen Stationen mit der Windecke, so ergibt sich eine verschiedene Gruppierung, jenachdem nördlicher oder südlicher Wind herrscht. Bei nördlicher Strömung streicht der Wind über die ausgeglicheneren Hänge im hinteren Teil des Gartens frei hinweg so daß er ein kräftiges Ausmaß annimmt, aber keine besondere Kraft entwickelt. Er erfährt an der Kuppe eine leichte Stauung durch eine Fichtengruppe der Südseite, die bis wenig unter den Gipfel reicht. In Tabelle 73 und Abbildung 76 finden sich Mittelwerte zusammengestellt: Bei nördlichen Winden besitzt die Kuppe sieben Zehntel der Windstärke der Windecke, das hintere Nardetum zwei Drittel, das vordere Nardetum ein Zweitel, während die beiden Seslerieten zwischen einem Viertel bis einem Fünftel schwanken. Die Kuppe trennt einen windreichen, nördlichen Gartenteil von einem windärmeren, gegen Süden und Südosten abfallenden Teil. Namentlich das untere Seslerietum ist windarm. In einzelnen Fällen erreichte dort die Windstärke nur ein Achtel bis ein Zehntel der Windstärke der Windecke. Verhältnismäßig windarm ist auch das vordere Empetretum. Die dortige Station ist zwar der Windrichtung frei ausgesetzt, aber doch durch einen kleinen Geländevorsprung und einige Fichtengrotzen etwas geschützt. Innerhalb dieser allgemeinen Gliederung ist eine feinere Differenzierung in Kleinstandorte vorhanden, die sich namentlich bei kleinen Veränderungen in der Windrichtung bemerkbar macht. So genügt eine leichte Drehung des Windes

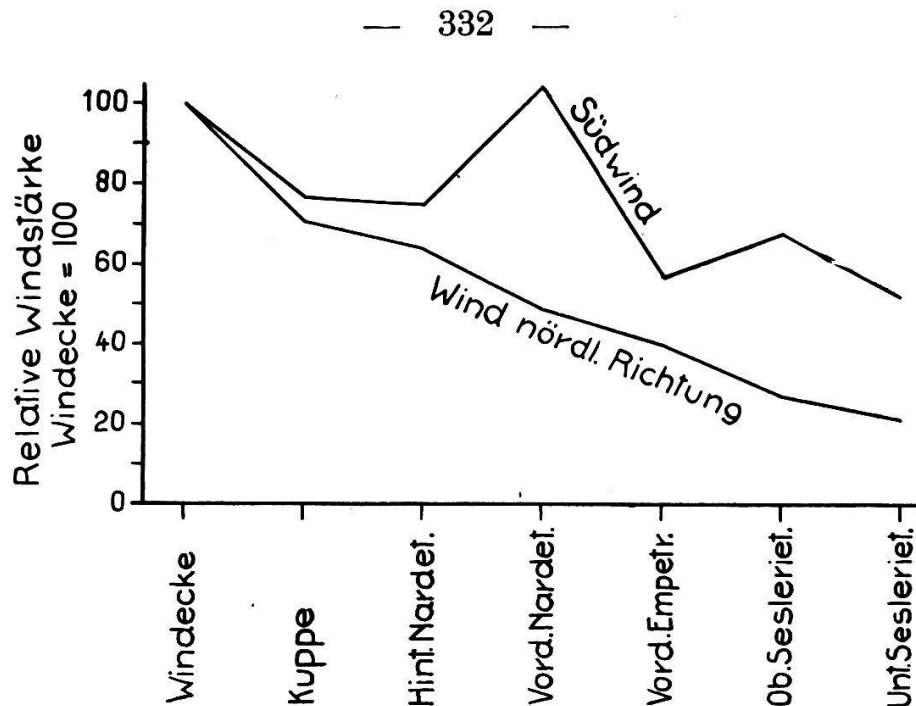


Abb. 76. Mittlere Windstärke in verschiedenen Pflanzengesellschaften, bezogen auf die Windecke = 100, bei Wind aus nördlicher und aus südlicher Richtung.

gegen Osten hin, um im oberen Seslerietum, das an der Sonnenseite der zentralen Kuppe liegt, eine bedeutende Verstärkung der relativen Windgeschwindigkeit hervorzurufen, während das etwas geschützt liegende, untere Seslerietum niedrigste Werte beibehält. Vom 11. zum 12. VI. nimmt im oberen Seslerietum und im vorderen Nardetum die relative Windgeschwindigkeit zu, im hinteren Nardetum und vorderen Empetretum dagegen ab.

Bei südlichen Winden, die allerdings nicht gerade häufig wehen, ist die Verteilung der Windgeschwindigkeit sehr verändert (15. VI.), indem die relative Windstärke im vorderen Gartenteil zunimmt. Auf dem flachen Boden des vorderen Nardetums war die Windgeschwindigkeit bei unserem Versuche sogar etwas höher als an der Windecke. Im Seslerietum bleibt sie zwar bedeutend hinter dem vorderen Nardetum zurück; die relative Windstärke erscheint aber gegenüber den nördlichen Winden um mehr als das Doppelte gesteigert. Wenig verändert ist dagegen das Verhältnis von Windecke und Kuppe. Im ganzen scheint die Differenzierung der Windstärke bei südlicher Windrichtung bedeutend schwächer zu sein; die Werte der einzelnen Stationen sind ausgeglichener.

Windklimatisch sind also im Alpengarten zwei lokale Typen vorhanden: Die Sonnenhänge von Südosten bis Westen, der Nardetumboden und die Festucetum-Mulde im vorderen Gartenteil, bis zum Grat von der Kuppe zur Windecke, sind verhältnismäßig windstill und gegen die nördlichen Winde geschützt. Sie erhalten stärkere Luftbewegung nur bei Föhnströmung, also bei einem während der Vegetationszeit nicht sehr häufig auftretenden, stets warmen und trockenen Wind. Die Schattenhänge und die flachen Böden im hinteren Gartenteil dagegen sind der herrschenden nördlichen Windströmung offen ausgesetzt und verhältnismäßig zügig. Aber auch in diesem windreichen Gebiet genügen kleine Geländevorsprünge, um einen lokalen Windschatten zu erzeugen, so im Caricetum ferrugineae des «Großen Spaltes» und in anstoßenden Teilen des vorderen Empetretums. Am Steilhang weht jeweilen der Wind weniger stark als auf dem oben anschließenden Plateau, und außerdem können an den treppig gestuften Hängen Luftstauungen eintreten (s. S. 315). Diese sind besonders im unteren Sesslerietum auffällig und äußern sich durch geringe Verdunstung bei starker Erwärmung. Während der nächtlichen Abkühlung fließt die abgekühlte Luft in den flachen Böden und Mulden zusammen. Auf dem schmalen Plateau der Windecke tritt eine Stauung nicht mehr ein; sie läßt die kühle Luft leicht abfließen.

6. Die relative Luftfeuchtigkeit.

Allgemeines

Zur Messung der Luftfeuchtigkeit bedienten wir uns, wie bereits erwähnt, der Haarhygrometer von Lamprecht. Sie wurden an den gleichen Holzsäulen befestigt wie die Sixthermometer und verteilen sich auf die gleichen Stationen (vgl. Abb. 51 und 58—61). Der empfindliche Teil befand sich im weißgestrichenen Metallgehäuse, 30—40 cm über dem Boden. Die Instrumente waren der Sonne frei ausgesetzt, doch so, daß der Haarstrang von der Sonne nicht getroffen wurde.

Die Haarhygrometer sind keine sehr genauen Instrumente und leiden namentlich durch starke und andauernde Austrocknung. Wir kontrollierten unsere im Alpengarten aufgestellten Apparate wiederholt und konnten feststellen, daß sie nicht stark variierten, was wohl vor allem darauf zurückzuführen ist, daß hohe Werte in der Luftfeuchtigkeit beinahe täglich vor-

kamen, auch wenn tagsüber in der Sonne starke Austrocknung eintrat. Über Winter blieben die Hygrometer im Alpengartenlaboratorium, bei andauernd hoher Luftfeuchtigkeit. Zur endgültigen Bereinigung unserer Daten führten wir folgende Korrektur aus: wir entnahmen aus den Beobachtungslisten für jedes Instrument die Höchstwerte, welche es bei starker Taubildung oder feuchtem Nebelwetter, wo die Luftfeuchtigkeit auf ca. 100 % angesetzt werden kann, zeigte. Die Differenz zwischen diesen Höchstwerten und 100 betrachteten wir als Fehler des Instrumentes, den wir dann zu den einzelnen, abgelesenen Beobachtungswerten zuzählten, in der Annahme, der Fehler wirke sich auf die verschiedenen Feuchtigkeitsgrade gleich aus. Dieses Vorgehen ist zwar nicht ganz einwandfrei, wird aber doch größere Fehlangaben ausschließen. Die Korrektionszuschläge beliefen sich auf 4—9 % und sind eher etwas zu hoch als zu niedrig, da viele Instrumente so geeicht sind, daß sie auch bei starkem Tau oder bei nassem Nebel nur etwa 98 % angeben.

Monatliche Mittelwerte und Tageswerte

Im Jahre 1931 wurden die Hygrometer jeden Tag um 7.30 und 13.30 Uhr abgelesen. Die monatlichen Mittelwerte finden sich in der Tabelle 74 zusammengestellt, wobei wir zum Vergleich auch die bereits früher (S. 197) besprochene Station Hauswand nochmals beifügen. Am feuchtesten ist am Morgen und am Mittag das Empetretum, am trockensten am Morgen das Seslerietum, nahe gefolgt von Windecke und Nardetum. Am Mittag ist das Seslerietum deutlich feuchter als Nardetum und Windecke, deren Werte voneinander nur wenig abweichen. Im allgemeinen ist die Luftfeuchtigkeit zur Zeit der Morgenablesung kleiner als am Mittag. Diese trockene Morgenluft ist im Juli und August am besten bemerkbar, und zwar besonders deutlich im Seslerietum und Empetretum. Im September gleichen sich Morgenwert und Mittagswert aus, und das Nardetum ist am Mittag sogar bedeutend trockener als am Morgen (vgl. auch Abb. 77). Diese Veränderung wird dadurch hervorgerufen, daß vom Juli zum September am Morgen

TABELLE 74

Messung der relativen Luftfeuchtigkeit im Alpengarten.
Monatliche Mittelwerte der Stationen, Juli/September 1931.

Monat	7 ¹ / ₂ h					13 ¹ / ₂ h				
	U. Sesler.	Wind- ecke	H. Nard.	V. Emp.	Haus- wand	U. S.	W.	H. N.	V. E.	H.
Juli	65	66	65	69	73	75	68	69	76	71
August	63	67	67	73	71	74	68	69	81	73
September	71	69	72	81	72	73	69	63	81	73
Mittel	66,3	67,3	68	74,3	72	74	68,3	67	79,3	72,3

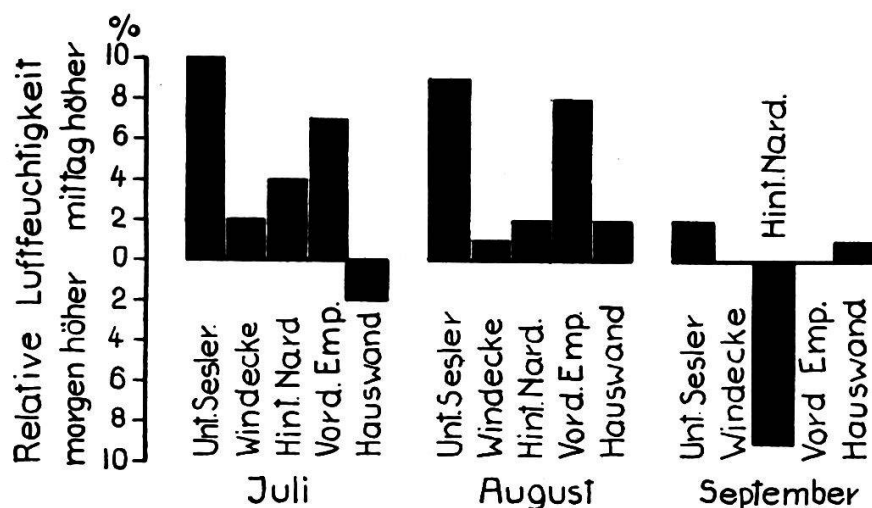


Abb. 77. Vergleich der relativen Luftfeuchtigkeit am Morgen und am Mittag für die verschiedenen Pflanzengesellschaften während der Sommermonate. Der Betrag, um den die relative Luftfeuchtigkeit am Mittag höher ist als am Morgen, ist oberhalb der 0-Linie abgetragen, der Betrag, um den sie am Morgen höher ist als am Mittag, unter der 0-Linie. Ist sie morgens und mittags gleich hoch, so fällt die Eintragung weg.

eine Zunahme der Luftfeuchtigkeit eintritt, die im Empetretum am größten ist. Mittags ist der September nicht feuchter als der August, im Nardetum sogar wesentlich trockener. Die Luftfeuchtigkeit der beschatteten Station Hauswand hält sich in der Größenordnung der Feldstationen.

Im Jahre 1932 wurde nur eine Mittagsablesung ausgeführt (s. Tab. 75). Im Mittelwert des ganzen Sommers sind unteres und oberes Seslerietum sowie Windecke mit gleichen Werten am lufttrockensten, Hauswand und hinteres Nardetum etwas feuchter, das Empetretum am feuchtesten. In Juli ist die Luftfeuchtigkeit ausgesprochen am größten, und die einzelnen Stationen sind nur

TABELLE 75

Relative Luftfeuchtigkeit im Alpengarten Schinigeplatte. Monatliche Mittelwerte der Stationen, Juni—September 1932, 13.30 Uhr (im Juni nur 21 Tage).

Monat	U. Sesl.	O. Sesl.	W.	H. Nard.	V. Nard.	V. Emp.	H. Emp.	Hauswand
Juni	65	67	68	67	69	72	—	69
Juli	75	73	74	78	76	77		75
August	57	55	54	60		63		57
September	60	59	61	64		70	76	65
Mittel	64,2	63,7	64,2	67,2		70,5		66,5

wenig verschieden. Der Juni, dem allerdings die erste Dekade fehlt, ist merklich trockener, und bedeutend trockener sind August und September. In diesen Monaten tritt auch die deutliche Differenzierung der Stationen auf: Seslerietum und Windecke wenig verschieden und am trockensten, hinteres Nardetum merklich feuchter und Empetretum am feuchtesten. Die Unterschiede der Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Monaten sind ein Abbild der Wetterlage, die bereits früher besprochen wurde und die sich auch bei den Temperaturverhältnissen ähnlich auswirkte. Im vieljährigen Mittel dürften die mittäglichen Feuchtigkeitswerte vom Juni/Juli zum August/September absinken, doch weniger stark, als dies im Jahre 1932 in Erscheinung trat.

Dank der trockenen Monate August und September ist die mittlere Feuchtigkeit im Jahre 1932 während der Vegetationsperiode wesentlich kleiner als im Jahre 1931; nur im Juli war sie höher.

Die wichtigeren Eigentümlichkeiten in der Verteilung der Luftfeuchtigkeit lassen sich durch die Lage der einzelnen Stationen erklären. Das Empetretum ist am feuchtesten, weil es die geringste Besonnung empfängt, während das Seslerietum sehr intensiv, die Windecke und das Nardetum langdauernd besonnt werden. Der gegenüber dem Morgen höhere Mittagswert ist eine Folge der starken mittäglichen Bewölkungszunahme und für die besonders betroffenen Stationen Empetretum und unteres Seslerietum auch der gegen Osten gerichteten Lage, die am Morgen, parallel der rasch erfolgenden Aufwärmung, auch eine starke Austrocknung der Luft mit sich bringt. Die stärkere Zunahme der Luftfeuchtigkeit gegen den Herbst hin zur Zeit der Morgenablesung hängt mit der Verkürzung der Tage zusammen.

Die Unterschiede zwischen den Beobachtungsstationen sind aber in bezug auf die mittlere Luftfeuchtigkeit nicht sehr groß und nicht regelmäßig (vgl. Abb. 78). Sie scheinen von der Zeit des höchsten Sonnenstandes gegen den Herbst hin etwas zuzunehmen, insbesondere weil die Station Empetretum infolge geringerer Besonnung gegenüber den übrigen Stationen immer feuchter wird, während Seslerietum und Windecke von der geringeren Bewölkung besonderen Vorteil ziehen. Im ganzen genommen können die monatlichen Mittelwerte der Luftfeuchtigkeit zur Charakterisierung der Standorte, abgesehen vom Empetretum, nicht viel beitragen.

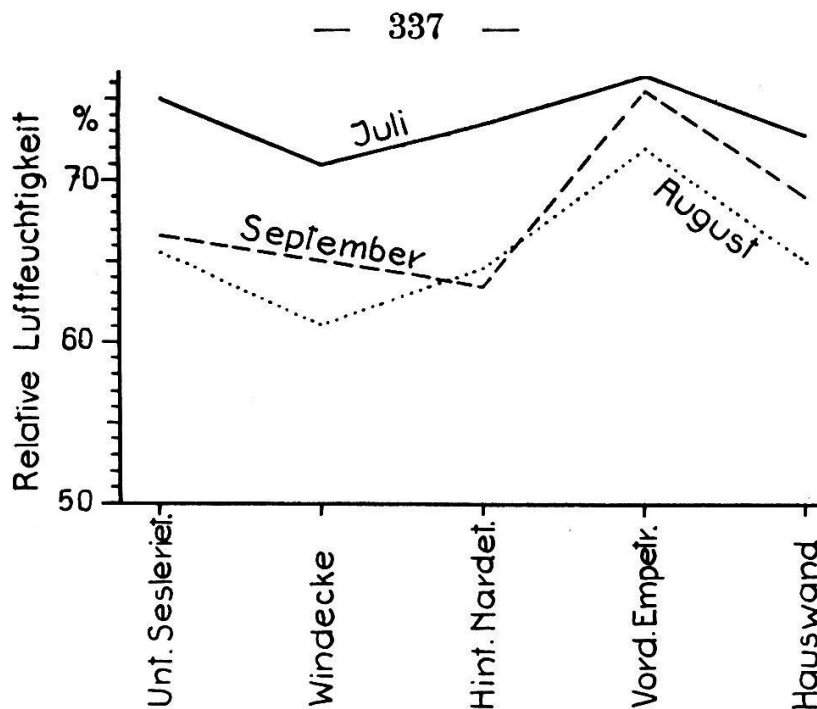


Abb. 78. Mittlere Mittagswerte der relativen Luftfeuchtigkeit während der Sommermonate 1931 und 1932 für verschiedene Pflanzengesellschaften.

Stärker gehen jedoch die einzelnen Stationen in den Extremwerten auseinander. Wir geben einige Beispiele, vorerst die Minimalwerte der einzelnen Monate, wie sie bei der starken Austrocknung der Luft während Föhnlagen auftreten (Tab. 76).

TABELLE 76

Monatliche Minimalwerte der Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Stationen.

Jahr	Monat	US	OS	W	VN	HN	VE	HE	H
1931	VII.	25		31		30	32		37
	VIII.	20		16		18	31		29
	IX.	28		33		35	46		39
1932	VI.	42	42	43	45		51		44
	VII.	41	40	30	41	36	30		36
	VIII.	25	30	27	31	29	32		30
	IX.	30	32	29		37	45	56	40

Die niedrigsten Werte finden wir in der Regel im Seslerietum oder in der Windecke; doch kann auch das Empetretum in der Zeit der langen Tage Niedrigstwerte aufweisen (Juli 1932), während es im September ausgesprochen ungünstig dasteht. An der Hauswand fehlen extreme Kleinwerte der Luftfeuchtigkeit, da sie der direkten Besonnung, mit Ausnahme einiger Nachmittagsstunden, die aber für die Beobachtung außer Betracht fallen, nicht ausgesetzt ist.

Weitere Fälle bedeutender Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit der einzelnen Stationen bringt Tabelle 77.

Die Höchst- und Niedrigstwerte sind unregelmäßig verteilt, ob-
schon im allgemeinen das Seslerietum und die Windecke gerin-
gere Feuchtigkeit, das Empetretum höhere Feuchtigkeit aufweisen.
Die stark abweichenden Werte können gelegentlich von Ablese-
fehlern oder von mangelhaftem Reagieren des Instrumentes (lang-
same Einstellung, Unempfindlichkeit) herrühren, entsprechen aber
jedenfalls in der Mehrzahl der Fälle dem wirklichen Verhalten der

TABELLE 77

Charakteristische Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit
zwischen den einzelnen Stationen.

Jahr	Tag		US	OS	W	VN	HN	VE	HE	H
1931	12. VII.	mo	65		34		37	32		37
	25. VII.	mi	82		94		79	73		81
	29. VII.	mi	77		70		65	89		69
	15. VIII.	mi	79		94		98	100		95
	20. VIII.	mo	35		56		55	63		65
	26. VIII.	mo	66		78		80	94		93
	28. VIII.	mo	20		16		18	31		29
		mi	47		32		29	57		48
	16. IX.	mi	43		45		35	59		46
	25. IX.	mi	70		61		37	97		84
	26. IX.	mo	67		36		36	78		40
1932	6. VII.	mi	84	67	88	88	100	90		82
	26. VII.	mi	74	85	97	83	98	97		98
	1. VIII.	mi	80	80	98	72	99	94		67
	22. VIII.	mi	63	64	61		59	79	87	59
	31. VIII.	mi	50	56	65		74	74	78	71
	12. IX.	mi	52	44	63		66	82	88	62
	26. IX.	mi	64	66	83		84	83	91	67

relativen Luftfeuchtigkeit, wobei lokale Besonnung oder Beschat-
tung und lokale Luftbewegung sich auswirken können. In der
großen Mehrzahl der Beobachtungstermine zeigen aber die Hygro-
meter der verschiedenen Stationen in der Größenordnung und im
allgemeinen Gang der Luftfeuchtigkeit große Übereinstimmung.
Dies zeigt sich auch in den Kurvenbildern der 5tägigen Mittel-
werte.

5tägige Mittelwerte

Wir besitzen für das Jahr 1931 die Messungen der Morgen-
werte (7.30 Uhr) und der Mittagswerte (13.30 Uhr), die in den
Kurvenbildern der Abbildung 79 dargestellt sind. Im allgemeinen

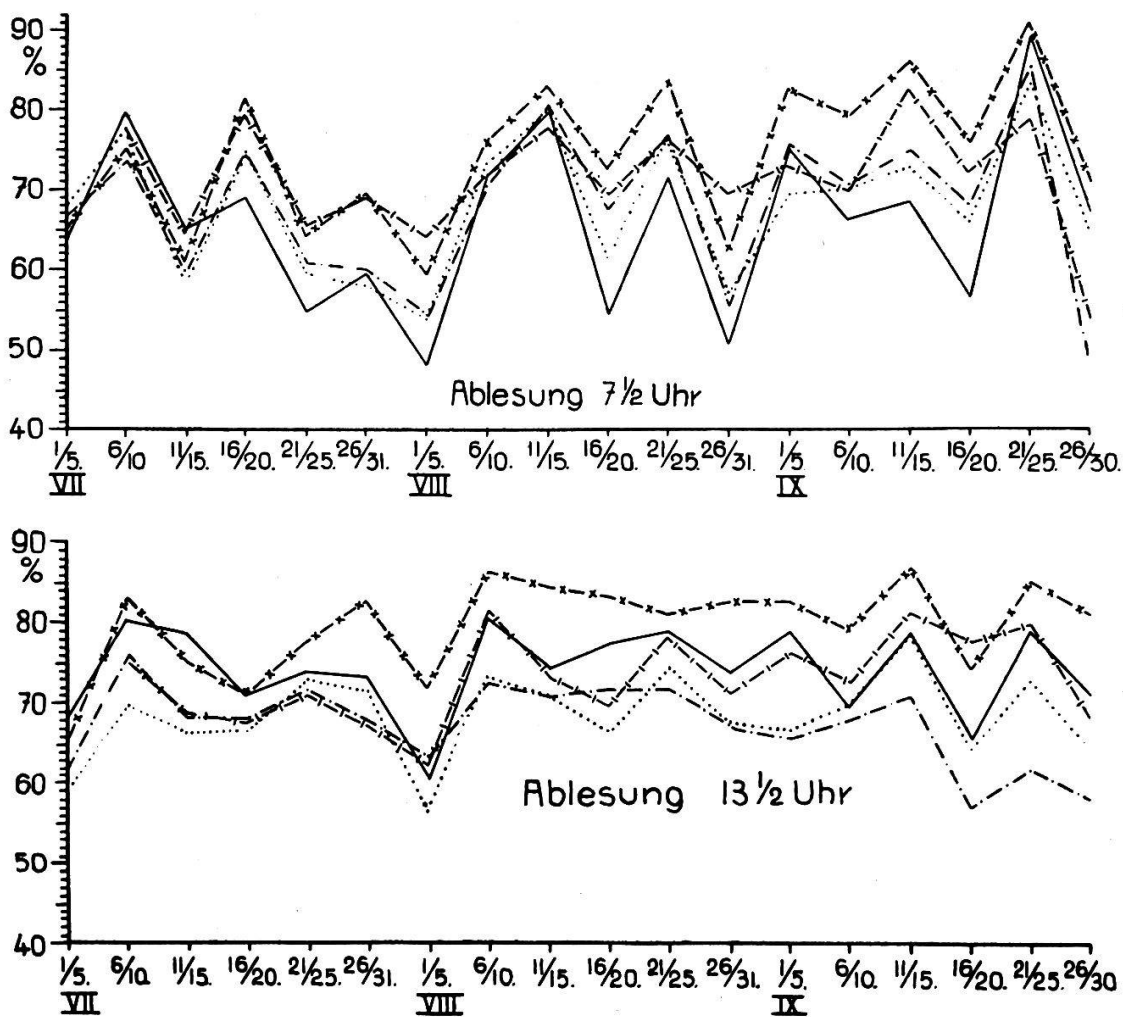


Abb. 79. Fünftägige Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Pflanzengesellschaften während des Sommers 1931. Für die Zeichen siehe Abbildung 81.

verlaufen alle Kurven gleichsinnig, wobei das Empetretum, mit Ausnahme der ersten Julihälfte, in der Regel die höchste Feuchtigkeit aufweist, während sich die übrigen Stationen verschieden verhalten. Die Kurvenausschläge sind bei den Morgenwerten stark, besonders im Seslerietum und Empetretum, weniger im Nardetum und in der Windecke, weitaus schwächer an der Hauswand. Sie folgen den Witterungsverhältnissen in ausgesprochener Weise. Bei den Mittagswerten verlaufen die Kurven ruhiger und in engeren Grenzen, gehen aber weniger parallel. Die Extreme bleiben auf der Seite der niedrigen Luftfeuchtigkeit weit hinter den Morgenextremen zurück. Vorwiegend sind die Mittagswerte trockener als die Morgenwerte, besonders in Gutwetterperioden,

doch nicht für alle Stationen gleichmäßig. Bei der Morgenablesung ist in der Regel das untere Seslerietum am trockensten, und Windecke und hinteres Nardetum stimmen mit mittleren Werten weitgehend überein. Zur Zeit der Mittagsablesung ist die Luft im unteren Seslerietum bereits ziemlich feucht geworden, feuchter als in Windecke und hinterem Nardetum. Im Juli und August ist um diese Zeit im allgemeinen die Windecke am trockensten, während im September in auffallender Weise das hintere Nardetum mittags die geringste Luftfeuchtigkeit aufweist, auch wenn es am Morgen sehr feucht gewesen ist, wie z. B. in der Pentade vom 21./25. September. In der Abbildung 80 haben wir die Morgen- und Mittagswerte für das Seslerietum und Empetretum vereinigt, und die Darstellung zeigt klar die ungünstige Stellung des Empetretums, mit Ausnahme der längsten Tage.

Auch sonst gibt es gelegentlich ein abweichendes Verhalten einzelner Stationen. Vom 6.—15. Juli ist das untere Seslerietum am Morgen am feuchtesten, vom 11.—15. Juli auch am Mittag. Das wiederholt sich später nie mehr. In einzelnen Schlechtwetterperioden wird die Station Hauswand mit den geringen Amplituden ihrer Kurven am feuchtesten. Bei den Morgenablesungen macht die Station Windecke die Schwankung vom 6.—10. September kaum mit. In der Periode vom 21./25. IX. ist die morgendliche Luftfeuchtigkeit im Seslerietum auffallend hoch, beinahe so

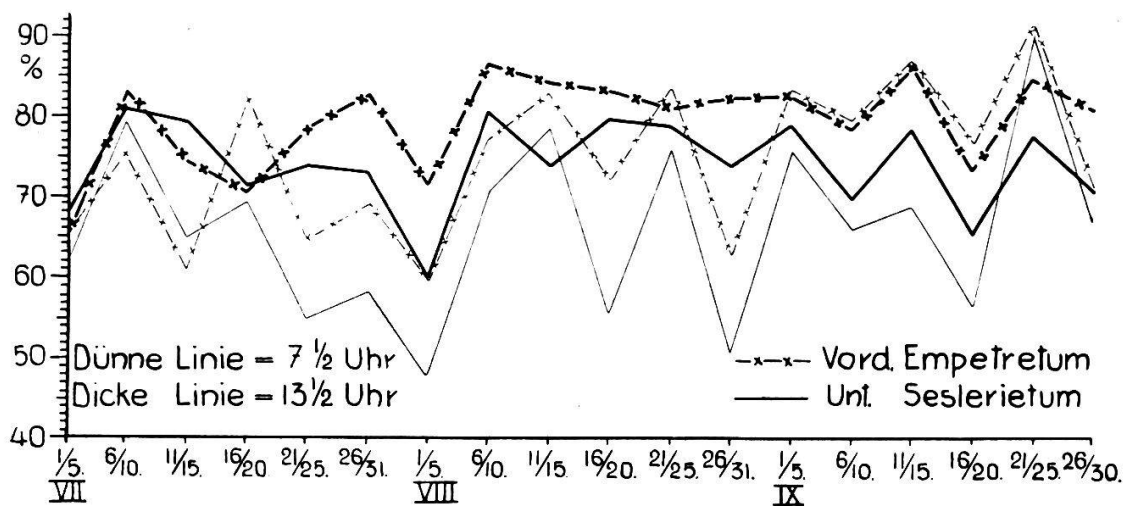


Abb. 80. Fünftägige Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit im unteren Seslerietum und vorderen Empetretum im Jahre 1931, am Morgen und am Mittag.

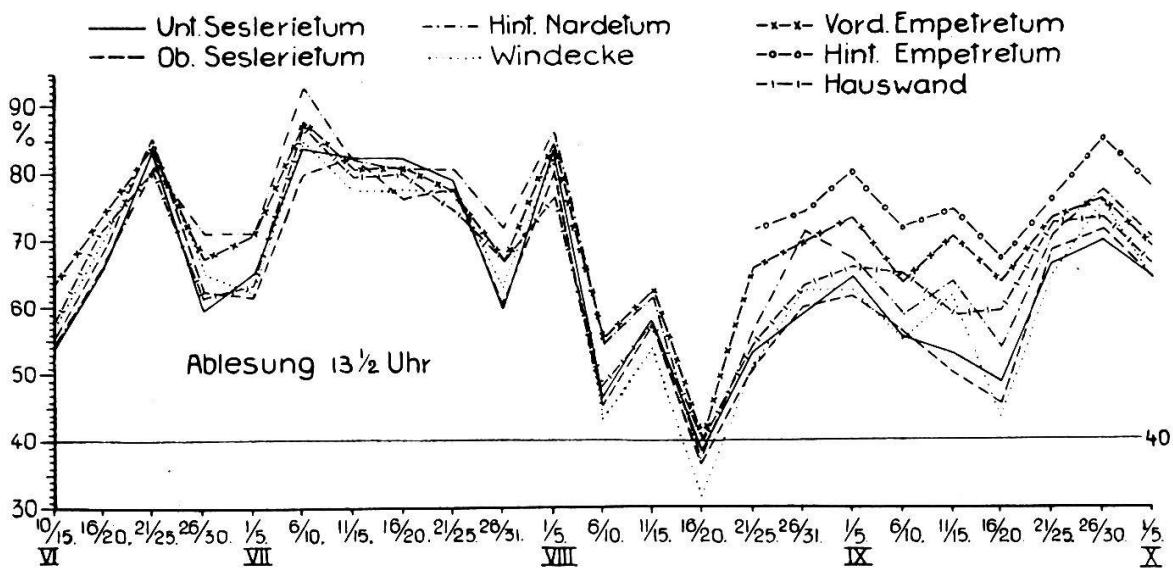


Abb. 81. Fünftägige Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Pflanzengesellschaften während des Sommers 1932.

hoch wie im Empetretum, was mit den starken Schneehäufungen in dieser etwas geschützten Ecke zusammenhängt. In der Periode vom 16./20. VII. folgt auf eine ausgesprochene morgendliche Feuchtigkeit am Mittag ein Trockenwerden, mit Ausnahme des am Morgen verhältnismäßig trockenen unteren Seslerietums, das am Mittag etwas feuchter wird. Am 11.—15. VIII. werden nach einem feuchten Morgen vier Stationen um Mittag trockener; das Empetretum aber wird etwas feuchter.

Im Jahre 1932 wurden nur um 13.30 Uhr Beobachtungen ausgeführt. Wie das Kurvenbild der Abbildung 81 zeigt, sind die Ausschläge nach Gutwetter- und Schlechtwetterperioden kräftiger als im Vorjahre, und die Stationen gehen im allgemeinen gut parallel. Die größten Trockenheitsextreme finden sich in den beiden Seslerieta und in der Windecke, die in den trockenen Perioden des August und September die geringste Luftfeuchtigkeit aufweist. Die größte Feuchtigkeit finden wir in der ersten Hälfte des Sommers in der Regel im hinteren Nardetum, während das vordere Nardetum zu den trockeneren Stationen zählt. In der zweiten Hälfte des Sommers, also bei etwas kürzeren Tagen, weichen die verschiedenen Stationen stärker voneinander ab. Das vordere Empetretum, das in der ersten Sommerhälfte eine mittlere Stellung einnahm und nur zur Zeit der Trockenheitsspitzen hinten rangierte,

rückt entschieden an die Spitze der Feuchtigkeitswerte. Nur die neue Station hinteres Empetretum ist regelmäßig noch feuchter. In der Periode vom 11./15. IX. verhalten sich die Seslerieta und die Station Hauswand gegensätzlich zu den übrigen Stationen.

Der Vergleich der Luftfeuchtigkeitsdaten der beiden Beobachtungsjahre, die wir für die Stationen unteres Seslerietum und vorderes Empetretum in Abbildung 82 gesondert dargestellt haben, läßt die Vielgestaltigkeit der Faktoren und Faktorenkombinationen erkennen, welche die relative Luftfeuchtigkeit bedingen. Es zeigen sich allgemeine Übereinstimmungen im Verlaufe der Luftfeuchtigkeit und gewisse allgemeine Unterschiede, die vor allem aus der Lage der einzelnen Stationen und der damit verbundenen ungleichen Besonnungsdauer hervorgehen. Sind doch die Empetretum-Stationen im Herbst bereits um die Mittagszeit im Schatten. Dazu kommt die bedeutendere Bewölkungsgröße um die Mittagszeit gegenüber dem Morgen. Infolgedessen ist bei gutem Wetter um die Mittagszeit die Luftfeuchtigkeit in der Regel höher als am Morgen, bei schlechtem Wetter aber niedriger, weil der Besonnungseffekt ausfällt, vom Morgen zum Mittag aber allgemein eine leichte Aufwärmung eintritt. Vorübergehend einwirkende Faktoren, zu denen vor allem Wind und rasch wechselnde Bewölkung zu rechnen sind, bringen lokale Wirkungen hervor, die den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten entgegengesetzt sein können und

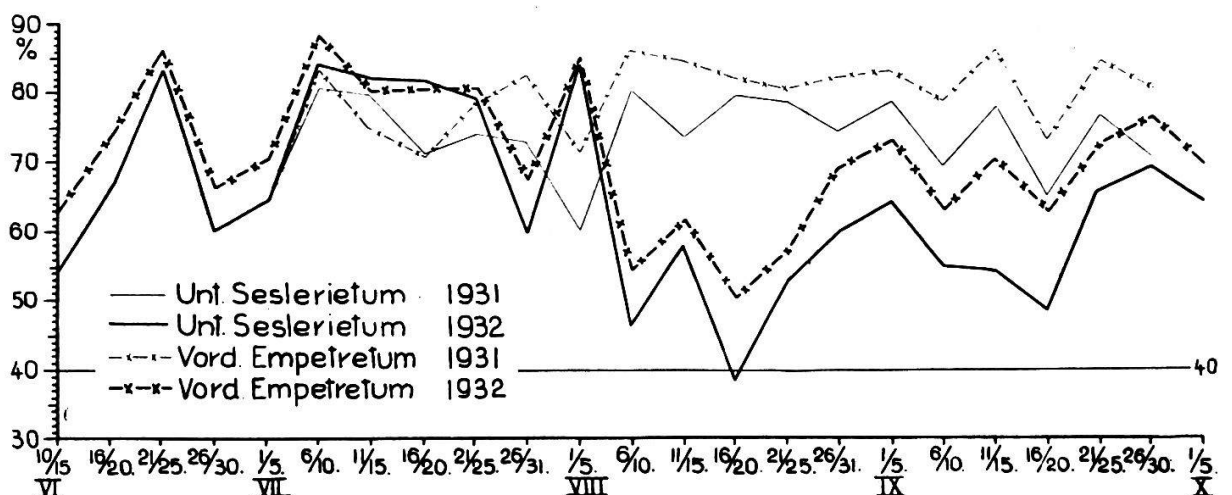


Abb. 82. Fünftägige Mittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit zur Mittagszeit im unteren Seslerietum und vorderen Empetretum in den Jahren 1931 und 1932.

bald die einen, bald die andern Stationen in eine besondere Stellung bringen. Dadurch, wie durch den für jedes Jahr besonderen Witterungsgang werden auch die einzelnen Jahre individualisiert. Die gleiche Station kann sich in zwei aufeinanderfolgenden Jahren ganz wesentlich anders verhalten (hinteres Nardetum). Wenn wir von diesen Schwankungen absehen, so bleibt beim Vergleich der Stationen die Tatsache, daß die Luft im Empetretum am feuchtesten ist, im Seslerietum und an der Windecke am trockensten. Dieses gegensätzliche Verhalten der beiden Stationen tritt in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode, infolge der starken Abnahme der Besonnung des Empetretums, stärker in Erscheinung und ist zur Zeit der Gutwetterperioden kräftiger ausgeprägt als zur Zeit der Schlechtwetterperioden, da die Empetretumkurve nach der trockenen Seite schwächere Ausschläge zeigt.

Täglicher Verlauf der Luftfeuchtigkeit

Die Tage mit stündlichen Beobachtungen erlauben, auch die kurzfristigen Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit genauer zu betrachten. Für die meteorologische Beschreibung der Beobachtungstage verweisen wir auf die Darstellung Seite 303 ff.

Die drei Beobachtungstage vom 12. Juni, 18. August und 2. Oktober 1932 weisen im Prinzip den gleichen Gang der Luft-

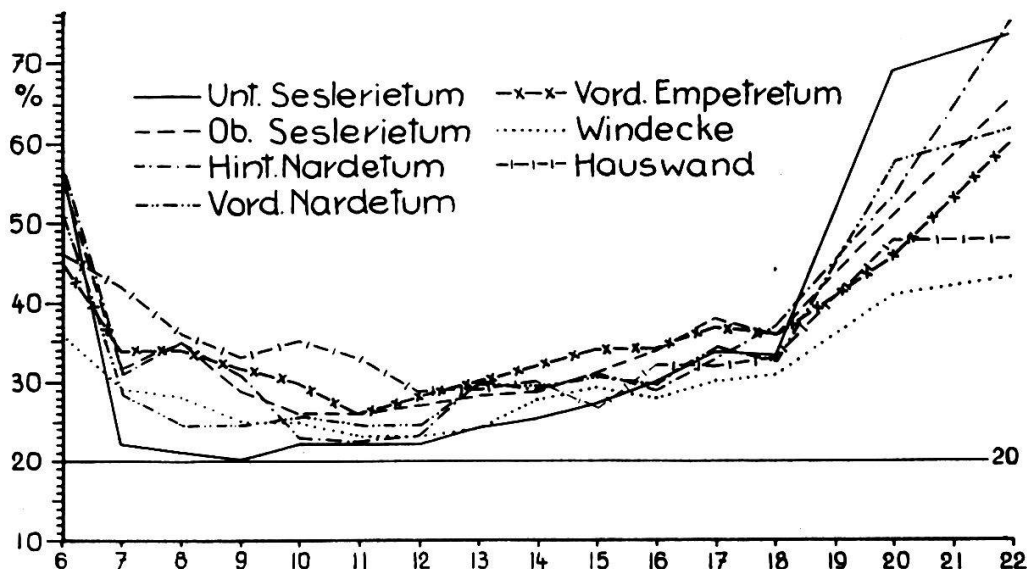


Abb. 83. Stündliche Werte der relativen Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Pflanzengesellschaften am 18. August 1932.

feuchtigkeit auf. Diese ist am frühen Morgen hoch, nimmt von Sonnenaufgang an sehr rasch und stark ab, erreicht zwischen 9 und 11 Uhr den Mindestwert und steigt dann wieder an, im Sommer zuerst langsam und von etwa 17—18 Uhr an rasch, so daß schließlich Werte erreicht werden, die dem Sättigungspunkte nahestehen (s. Abb. 83). Im Herbst erfolgt der Anstieg der Luftfeuchtigkeit schon früher und rascher. Dieser durch die Erwärmung der Luft bedingte Normalgang der relativen Luftfeuchtigkeit erleidet kleinere Abweichungen und Unregelmäßigkeiten, die vor allem von vorübergehender Bewölkung und von der Luftbewegung herrühren. Sie betreffen die einzelnen Stationen etwas ungleich und sind namentlich am 2. Oktober, dem Tage der wechselnden Bewölkung, sehr ausgeprägt. Die einzelnen Stationen zeigen eine mehr oder weniger deutliche Individualität im Gange der Luftfeuchtigkeit. So weist das untere Seslerietum am 12. Juni und 18. August die niedrigsten Werte auf; doch steigt die Luftfeuchtigkeit sehr gleichmäßig wieder an und überflügelt am Abend die andern Stationen, was wohl der mangelnden Luftbewegung an dieser geschützten Stelle zuzuschreiben ist. Das obere Seslerietum ist an beiden Tagen, mit Ausnahme des Abends, feuchter als das untere. Am 5. Oktober ist es auch über Mittag merklich trockener. Im Nardetum, das auf ebener Fläche gelegen ist, nimmt die relative Luftfeuchtigkeit mittlere Werte ein. In der Windecke ist die Luftfeuchtigkeit tagsüber niedrig und bleibt namentlich des Abends auffallend lange bei niedrigen Werten. Am 18. August zeigt sie bedeutend geringere Schwankungen als alle übrigen Stationen. Im vorderen Empetretum nimmt die relative Luftfeuchtigkeit im Juni und August des Morgens mittlere Werte ein, wird über Tag am größten unter allen Stationen, bleibt aber des Abends verhältnismäßig niedrig. Im Oktober dagegen ist sie in beiden Empetretumstationen ausgesprochen am höchsten. Die im Schatten liegende Hausstation behält im Juni und August während des ganzen Vormittags unter allen Stationen die höchste Feuchtigkeit, die auch während der mittleren Tagesstunden nur wenig abnimmt, mit Ausnahme der Zeit der direkten Bestrahlung zwischen 14 und 16 Uhr. Da die Feuchtigkeit gegen den Abend hin an der Hauswand nicht sehr stark zunimmt, so gehört diese Station während der Nacht zu den trockensten Stationen, ist aber doch feuch-

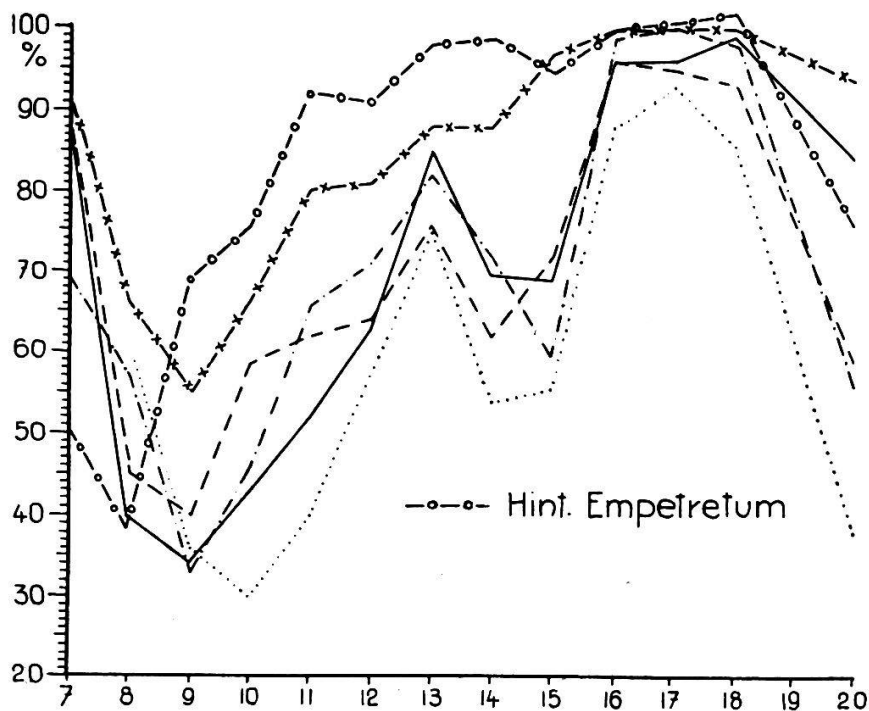


Abb. 84. Stündliche Werte der relativen Luftfeuchtigkeit in verschiedenen Pflanzengesellschaften am 5. Oktober 1932. Für die Zeichen siehe Abbildung 83.

ter als die Windecke. Am 2. Oktober ist die Feuchtigkeitskurve des unteren Seslerietums, wiederum mit verhältnismäßig wenigen Schwankungen, in die Mitte des Kurvenbündels gerückt, und die Windecke, zeitweilig zusammen mit dem oberen Seslerietum, weist ausgesprochen die größte Trockenheit auf. Am feuchtesten ist die Luft in dem hinteren Empetretum. Ein ganz unregelmäßiges Bild gibt der Verlauf der Luftfeuchtigkeit am 5. Oktober (s. Abb. 84). Hier steigt die Feuchtigkeit an der Hauswand schon zwischen 7 und 8 Uhr, im hinteren Empetretum zwischen 8 und 9 Uhr, im Seslerietum, Nardetum und vorderen Empetretum zwischen 9 und 10 Uhr, in der Windecke nach 10 Uhr, wieder an und erreicht rasch Werte, die der Sättigung nahestehen. Diese bleiben in den beiden Empetretum-Stationen den ganzen Tag über bestehen, während in den anderen Stationen zwischen 13 und 15 Uhr nochmals ein scharfer Abfall der Luftfeuchtigkeit eintritt. Die Ursache der Erscheinung liegt im Nebel, der zeitweise den Garten einhüllte und der sich in der Luftfeuchtigkeit viel stärker bemerkbar machte als in der Temperatur. Mit dem Rückgang des Nebels, zwischen 13 und 14 Uhr, fiel die Luftfeuchtigkeit, mit Ausnahme

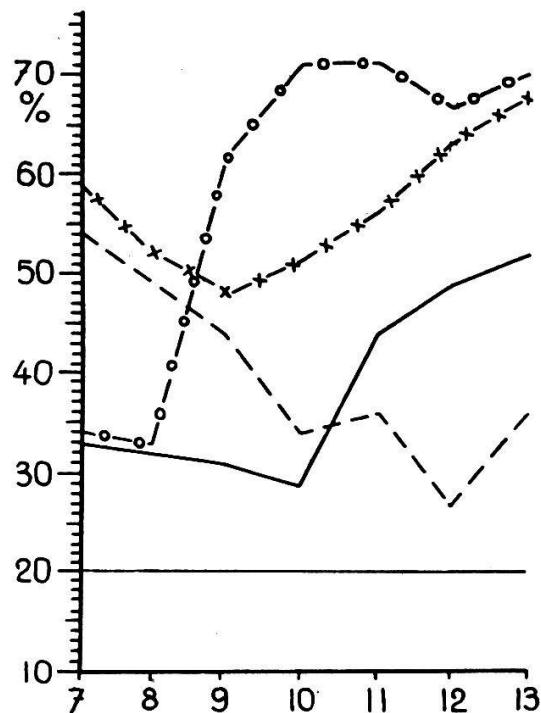


Abb. 85. Stündliche Werte der relativen Luftfeuchtigkeit im unteren und oberen Seslerietum sowie im vorderen und hinteren Empetretum am 7. Oktober 1947. Für die Zeichen siehe Abbildung 83 u. 84.

der bereits im Schatten stehenden Empetretum-Stationen, auf den Normalwert zurück, und nach 15 Uhr setzte der spätnachmittägliche Aufstieg ein. Bezeichnenderweise ist während der ganzen Zeit, seit dem Ende der Feuchtigkeitsabnahme um 9 Uhr, die Luftfeuchtigkeit in der Windecke am kleinsten von allen Gartenstationen. Eine eigentümliche Erscheinung tritt am 5. Oktober abends nach 18 Uhr ein: die Luftfeuchtigkeit fällt wieder, und zwar in der Mehrzahl der Stationen sehr stark, infolge Einsetzens einer leichten, trockenen Luftströmung. Die verhältnismäßig stark windgeschützten Stationen des unteren Seslerietums und des Empetretums machen diesen Abfall der Luftfeuchtigkeit schwächer mit als Windecke, Nardetum und oberes Seslerietum.

Die rasche Abnahme der Tageslänge benachteiligt vor allem die Stationen im Empetretum. Das zeigt sich neben dem 5. Oktober auch bei den Messungen vom 7. Oktober (s. Abb. 85), wo die Luftfeuchtigkeit im hinteren Empetretum bereits nach 8 Uhr, im vorderen Empetretum nach 9 Uhr wieder stark anstieg, trotzdem der Himmel im Vormittag hell war. Im Seslerietum erfolgte der An-

stieg später, und die Luft blieb andauernd bedeutend trockener. Um 13 Uhr ergaben sich folgende Werte für die relative Luftfeuchtigkeit:

Windecke	= 43 ‰
Oberes Seslerietum	= 36 ‰
Unteres Seslerietum	= 52 ‰
Hinteres Nardetum	= 61 ‰
Vorderes Empetretum	= 66 ‰
Hinteres Empetretum	= 70 ‰

In der Abbildung 86 haben wir auch für die Luftfeuchtigkeit die Tageskurven der beiden Extremstationen unteres Seslerietum und vorderes Empetretum des 12. Juni, 18. August und 5. Oktober zusammengestellt. Sie lassen die Unterschiede zwischen einem strahlend-trockenen Sommertag und einem strahlenden, aber kühlen Spätherbsttag schön erkennen.

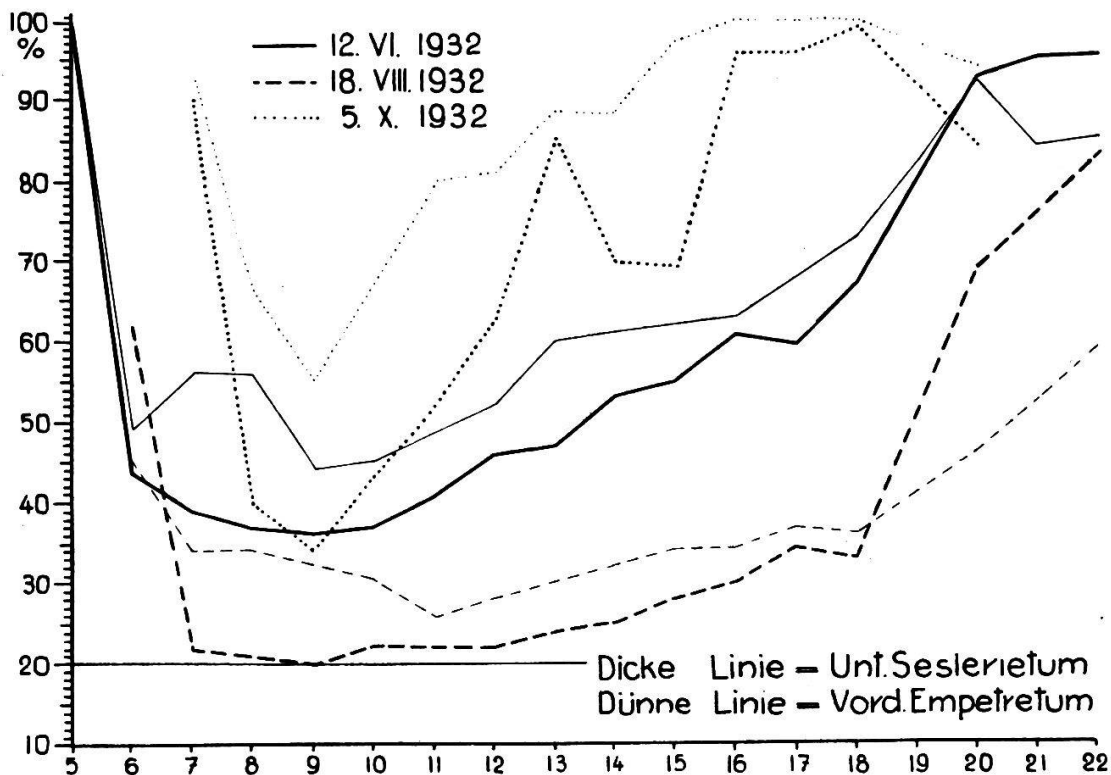


Abb. 86. Stündliche Werte der relativen Luftfeuchtigkeit im unteren Seslerietum und vorderen Empetretum am 12. Juni, 18. August und 5. Oktober 1932.

7. Die Verdunstung

Allgemeines

Mit dem Atmometer von Livingston maßen wir die Verdunstungsgröße der Luft. Der poröse Tonzylinder des Atmometers bietet der Luft eine feuchte, wassergesättigte Oberfläche, von der das Wasser frei abdunsten kann. So gibt der Wasserverlust ein Maß für die wasserverdunstende Kraft der Luft. Diese ist in erster Linie abhängig vom Sättigungsdefizit der Luft, dem sie ungefähr parallel geht: je größer das Sättigungsdefizit, desto größer auch die verdunstete Wassermenge. Sie ist also einigermaßen der relativen Luftfeuchtigkeit umgekehrt proportional und proportional der Lufttemperatur, deren Schwankungen ja in erster Linie den Stand der relativen Luftfeuchtigkeit bedingen. Außerdem macht sich aber die Wirkung der Luftbewegung bedeutend bemerkbar. Bei stagnierender Luft kann das verdunstete Wasser sich als Dampfhülle um die verdunstende Oberfläche stauen und dadurch die weitere Verdunstung hemmen. Konvektionsströmungen der Luft, wie sie von den Temperaturunterschieden hervorgerufen werden, bringen den Ausgleich, in viel höherem Maße aber Winde, die innerhalb kurzer Zeit große Luftmassen umwälzen. Die Verdunstungskraft der Luft ist deshalb kein einfacher meteorologischer Faktor, sondern die Summation verschiedener Faktoren, die auch auf die Transpiration der Pflanzen einwirken. Für nähere Orientierung über Theorie und Praxis dieser Messungen mit dem Atmometer verweise ich auf die Arbeiten von Livingston (1915) und Rübel (1922). In den Alpen wurde dieses Instrument zuerst von Amberg (1917) am Pilatus angewandt und unter anderem später von mir im Lauterbrunnental (Lüdi, 1925).

Die Apparatur wurde in der nicht absorbierenden Montierung verwendet, bei der ein Rückfluß von Wasser in den Zylinder während der Benetzung durch Regen oder Tau unmöglich ist. Als Reservoir für das Verdunstungswasser diente eine Literflasche, die in den Boden vergraben war. Der verdunstende Zylinder lag rund 20 cm über der Bodenoberfläche (vgl. Abbildungen 58—61). Einmal täglich wurde die Verdunstung kontrolliert, indem durch ein enges Glasröhrchen, über das ein Deckel gestülpt war, aus einem Meßglas destilliertes Wasser in die Flasche nachgegossen wurde, bis auf eine bestimmte Wasserstandsmarke. Die Menge des nachgefüllten Wassers gab das Maß für die seit der letzten Nachfüllung verdunstete Wassermenge. Solche Atmometerbeobachtungen können nur in der frostfreien Zeit durchgeführt werden. Schon bei leichtem Reif treten Eisbildungen an der Zylinderoberfläche auf, und bei stärkerer Frostbildung springen die Zylinder oder

ergeben sich andere Störungen. Im kalten Herbst 1931 mußten die Messungen Ende August eingestellt werden. Kleinere Störungen traten hin und wieder auf, besonders in der Station des hinteren Nardetums. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, haben wir sie in den Tabellen ergänzt. Die dadurch möglichen Fehler sind unbedeutend.

Durch Staubablagerung und durch die Entwicklung von Algen können die Zylinderoberflächen beschmutzt werden. Die Fähigkeit zur Wasserabgabe wurde dadurch nicht merklich beeinflußt. Doch wurden die Zylinder von Zeit zu Zeit mit destilliertem Wasser gereinigt. Die verwendeten Zylinder waren auf den Standardzylinder von Livingston geeicht, mit einem Korrektionskoeffizienten von 0,70. Nachprüfungen ergaben während der Beobachtungszeit keine wesentliche Veränderung dieses Koeffizienten. Alle unsere Angaben sind auf den Standardzylinder reduziert.

Ergebnisse

Die monatlichen Mittelwerte sind in der Tabelle 78 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß die Mittelwerte der Verdunstung in den einzelnen Monaten der Vegetationszeit starken Schwankungen ausgesetzt sind, die vor allem mit der gesamten Wetterlage zusammenhängen. Bei Regenwetter ist die Verdunstung gleich null, und infolgedessen weisen Monate mit ausgesprochener Schlechtwetterlage sehr niedrige Verdunstungsmittel auf. Diese erscheinen stärker gedrückt als etwa die Temperaturmittel. Ein solcher Monat ist der Juli 1932. Trockene Witterung ergibt hohe Verdunstung bis in den Herbst hinein. Noch der helle Sep-

TABELLE 78

Messung der Atmometerverdunstung im Alpengarten.
Tägliche Mittelwerte der einzelnen Monate in cm³, auf Standardwerte reduziert. Juli/August 1931.

Monat	U. Sesl.	Windecke	Nard.	Emp.
Juli	6,6	12,8	9,3	7,7
August	6,0	10,7	7,2	5,1

Juni/September 1932

Monat	U. Sesl.	O. Sesl.	Wind- ecke	H. Nard.	V. Nard.	V. Emp.	H. Emp.
Juni (v. 10. an)	6,9	8,8	11,3	9,3	9,0	5,9	
Juli	4,1	5,5	8,4	5,6	6,1	5,4	
August	9,7	12,1	20,8	12,9		11,1	
September	7,5	9,3	12,1	7,5		5,9	6,5
Mittel	7,0	9,0	13,2	9,0		7,1	

tember 1932 zeigt für die Mehrzahl der Stationen eine höhere Verdunstung als der niederschlagsreiche Juni. Sehr ausgeprägt erscheinen die Unterschiede in der Verdunstung zwischen den einzelnen Stationen. Die Windecke ergibt immer die höchsten Werte. Hier verbindet sich die langdauernde Besonnung mit der starken Windwirkung. Am geringsten ist die Verdunstung im unteren Seslerietum und im Empetretum. Das untere Seslerietum ist zwar recht warm; aber in dem windarmen Winkel ist eine ausgesprochene Luftstauung vorhanden, welche die Verdunstung einer feuchten Oberfläche heruntersetzt. Auch das vordere Empetretum ist relativ windstill; damit verbinden sich niedrige Temperatur und kurze Sonnenscheindauer. In der Verdunstungsquote wirken sich diese ungünstigen Lokalfaktoren vor allem im Herbst aus (September 1932). Das obere Seslerietum und das Nardetum geben mittlere Verdunstungswerte. Besonnung und Windwirkung sind stärker als im Empetretum oder im unteren Seslerietum, ohne aber die Windecke zu erreichen.

Die Tageswerte der verschiedenen Stationen gehen immer auseinander, wobei sich je nach den Witterungsverhältnissen bald kleine, bald sehr große Unterschiede ergeben. Wir bringen in Tabelle 79 eine Auswahl solcher Tage.

Die Beispiele ließen sich weitgehend vermehren. Wir sehen, daß die großen Gegensätze im Verhalten der Stationen vor allem an den Tagen mit hoher Verdunstung auftreten, wobei die Windecke regelmäßig an der Spitze steht, während in den Niedrigstwerten alle übrigen Stationen erscheinen, besonders häufig das untere Seslerietum und das Empetretum.

Um einen Begriff von den höchsten beobachteten Werten zu vermitteln, geben wir in der Tabelle 80 für die Beobachtungsmonate den höchsten, für jede Station festgestellten Betrag der täglichen Verdunstung. Die Höchstwerte fallen nicht für alle Stationen auf den gleichen Tag, verteilen sich aber doch nur auf wenige Tage. Im Juli und August 1931, sowie im Juni 1932 sind es je 3 Tage, welche die Höchstwerte geliefert haben, im Juli, August und September 1932 nur je 1 Tag. Die höchste Verdunstung wurde für alle Stationen am 19. August 1932 festgestellt, wobei die Windecke sich weit über die übrigen Stationen hinaus-

TABELLE 79

Tage mit kleinen und großen Unterschieden in der Verdunstungsgröße der einzelnen Stationen.

Tage mit kleinen Unterschieden		Station mit dem niedrigsten Wert	Station mit dem höchsten Wert
1931	5. VII., 13. VIII.	7,0 cm ³	9,8 cm ³
	27. VIII.	4,9 cm ³	7,0 cm ³
1932	11. VII.	4,2 cm ³	5,6 cm ³
	15. VII., 18. VII.	2,1 cm ³	3,5 cm ³
	5. VIII.	1,8 cm ³	2,4 cm ³
	25. VIII.	9,1 cm ³	13,3 cm ³
	5. IX.	4,6 cm ³	6,3 cm ³
Tage mit großen Unterschieden			
1931	22. VII.	9,8 cm ³	31,5 cm ³
	30. VII.	5,6 cm ³	18,2 cm ³
	2. VIII.	7,7 cm ³	33,2 cm ³
	17. VIII.	6,3 cm ³	31,5 cm ³
	24. VIII.	1,4 cm ³	5,6 cm ³
1932	28. VII.	2,1 cm ³	7,7 cm ³
	9. VIII.	4,9 cm ³	21,0 cm ³
	11. VIII.	4,2 cm ³	22,4 cm ³
	12. VIII.	4,9 cm ³	25,9 cm ³
	18. IX.	3,5 cm ³	14,0 cm ³

hebt. Die Maxima der Verdunstung gehen parallel mit trocken-warmem Wetter, mit warmer Nacht ohne Tau und starker Be-sonnung tagsüber. Die Luftfeuchtigkeit ist an diesen Tagen nie-drig bis mittelgroß; die Luftströmung, schwach bis mittelstark, kann aus verschiedenen Richtungen kommen. In einzelnen Fällen herrscht ausgesprochene Föhnlage (große Lufttrockenheit, trocke-ner, zeitweise starker Wind).

TABELLE 80

Höchste tägliche Verdunstungswerte der einzelnen Stationen während der Beobachtungsmonate.

	Monat	W	US	OS	VN	HN	VE	HE
1931	VII.	39,2	16,8			25,2	22,4	
	VIII.	33,2	19,6			18,9	14,7	
1932	VI.	25,2	20,3	19,3	24,5		19,3	
	VII.	32,9	11,9	17,5	17,5	21,7	20,3	
	VIII.	50,0	23,8	30,5	28,0	29,8	27,0	(29,4)
	IX.	30,1	19,6	23,1		18,2	14,7	14,0
	Mittel	35,1	18,6			23,6	19,7	

Wiederholt traten hohe Verdunstungsspitzen nur in der Wind-ecke auf, während die übrigen Stationen mittlere oder sogar kleine Werte aufwiesen. Solche Tage zeigten bei ziemlich hoher

Temperatur und mittlerer Luftfeuchtigkeit eine starke Bewölkung und einen kräftigen oder sogar stürmischen Wind. Der Tag der höchsten Verdunstung, der 19. VIII. 1932, war ein reiner Strahlungstag mit 12 Stunden Sonnenschein und geringer Luftfeuchtigkeit (Hauswand: morgens 36 ‰, mittags 38 ‰, 21.30 Uhr 67 ‰), aber ohne wesentlichen Wind.

Fünftägige Mittelwerte. Wir haben diese für die beiden Beobachtungsjahre in den Kurvenbildern 87—88 zusammengestellt. Die Kurven geben ein getreues Abbild der Wetterlage: bei gutem Wetter hohe Kurvengipfel, bei schlechtem Wetter Kurventäler. Die einzelnen Stationen gehen immer parallel; doch springt die Station Windecke im Kurvengipfel stets weit vor, während die übrigen Stationen eher aufgeschlossen bleiben. Im Kurvental fallen meist die Stationen unteres Seslerietum und Empetretum stärker ab als die übrigen. Im Sommer 1932, dessen Beobachtungszeit beinahe 4 Monate umfaßt, ergeben die Empetretum- und Seslerietum-Stationen einige Besonderheiten: im Juni sind unteres Seslerietum und vor allem vorderes Empetretum tief; im Juli (Schlechtwetter) und August (Gutwetter) reiht sich das vordere Empetretum in die mittlere Gruppe ein, während das

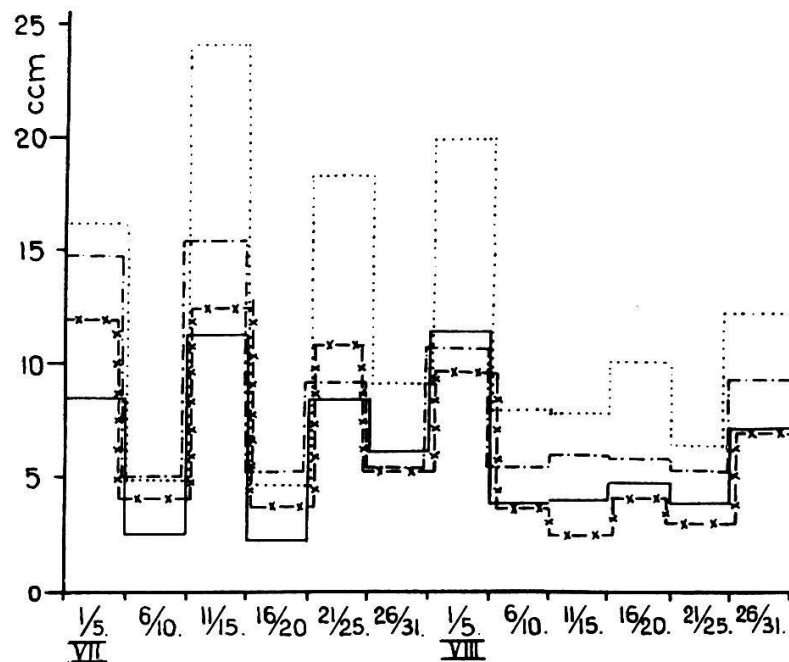


Abb. 87. Fünftägige Mittel der Verdunstungsgröße in verschiedenen Pflanzengesellschaften während des Sommers 1931. Zeichen siehe Abbildung 88.

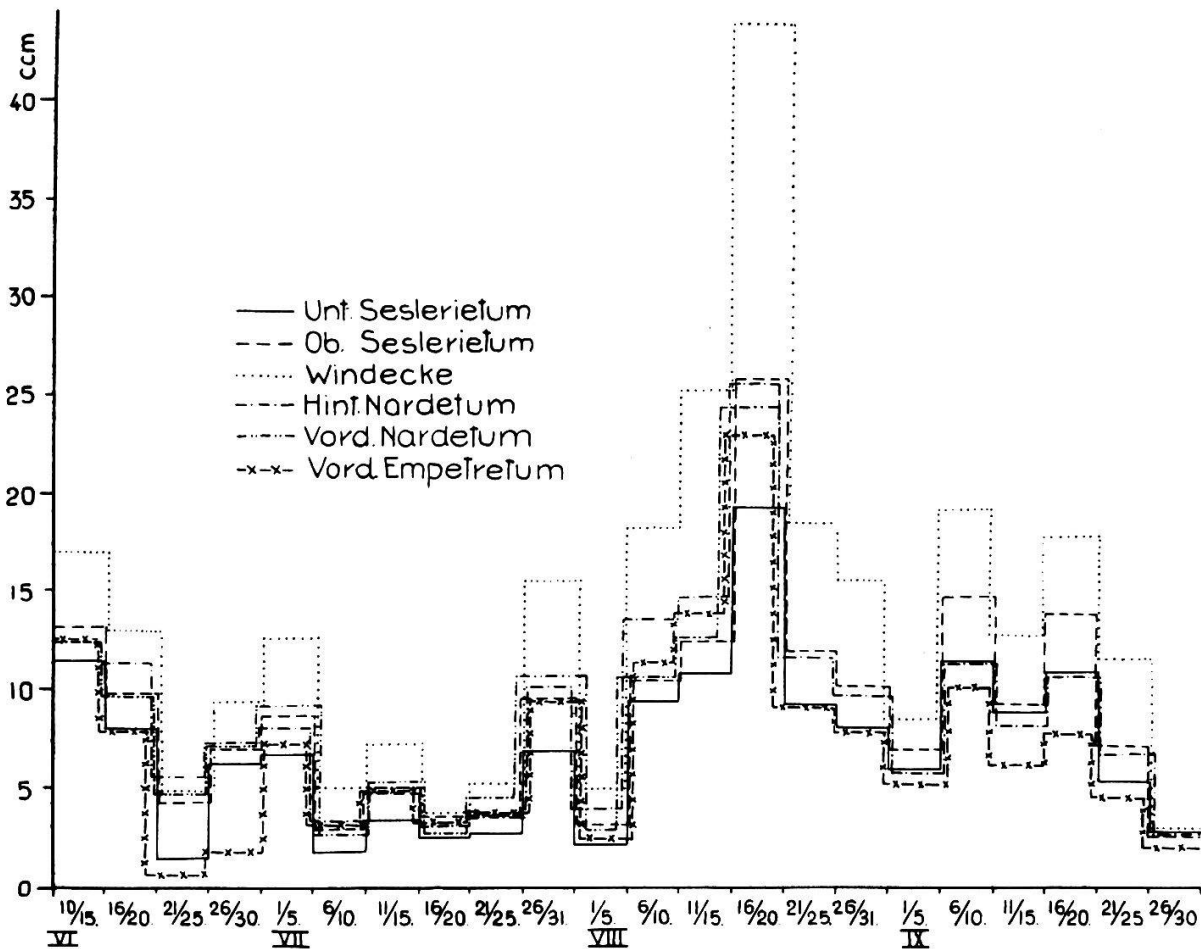


Abb. 88. Fünftägige Mittelwerte der Verdunstungsgröße in verschiedenen Pflanzengesellschaften während des Sommers 1932.

Seslerietum unten bleibt; im September kehrt sich das Verhältnis gerade um. Während bis Mitte August das hintere Nardetum in der Regel an der Spitze der Mittelgruppe lag, hebt sich von da an das obere Seslerietum über die andern heraus, erreicht aber doch die Windecke bei weitem nicht.

Es zeigt sich, daß trotz der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten jede Station ihre Individualität hat, die mit jedem Jahr etwas wechselt, da die meteorologischen Faktoren nie in der gleichen Kombination auftreten. Das hat sich auch in meinen früheren Verdunstungsuntersuchungen im Lauterbrunnental, die 4 Jahre lang fortgesetzt wurden, gezeigt (L ü d i, 1925).

Mit dem Livingstonschen Atmometer haben P a l l m a n n und H a f f t e r (1933) im August 1932 bei St. Moritz (Oberengadin), NE-Exp., ca. 1950 m, während einer sehr warmen, regenfreien Periode von 10 Tagen in zwei Empetretum-Beständen Verdunstungsmessungen ausgeführt. Sie fanden einen täg-

lichen Mittelwert von 26 cm³ im einen Bestand und von 17 cm³ im andern. Diese Werte stimmen also mit der Verdunstungsgröße unseres Schinigeplatte-Empetretums während der gleichen Zeitperiode überein (11./20. VIII. 1932 = 26 cm³ im Tagesmittel). Da aber solche warme, helle Witterungsperioden im Oberengadin häufiger auftreten als auf der Schinigeplatte und die Niederschläge viel geringer sind (s. S. 217), so werden die Gesamtverdunstung und die Gesamtaustrocknung während der Vegetationsperiode dort doch größer sein.

Während Luftfeuchtigkeit und Verdunstung im allgemeinen gegensätzlich gehen, gibt es doch auch Ausnahmen. So zeigen alle Hygrometer in der Periode vom 11./15. VIII. 1932 eine deutliche Zunahme der Feuchtigkeit, während gleichzeitig auch die Verdunstung etwas zugenommen hat. Im September des gleichen Jahres hebt sich das hintere Empetretum stark aus der Zahl der übrigen Stationen durch die größere Luftfeuchtigkeit heraus, während sich seine Verdunstungswerte eng an das vordere Empetretum anschließen, in der Regel sogar noch etwas höher sind. Die stärkere Windbewegung im hinteren Empetretum dürfte diese Wirkung hervorgebracht haben.

Stündliche Tagesmessungen. An den gleichen Tagen, an denen stündliche Messungen der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit vorgenommen wurden, maßen wir auch die Stundenwerte der Verdunstung. Wir bringen zur Übersicht zuerst die Gesamtsummen der einzelnen Stationen während der Beobachtungstage (Tab. 81).

TABELLE 81

Tagessummen der Verdunstung während der Tage mit stündlichen oder zweistündlichen Beobachtungen im Jahre 1932, in cm³ verdunstetem Wasser.

Tag und Stunden der Beobachtung	12. VI. 5—21 h	18. VII. 6—22 h	2. X. 6—22 h	5. X. 8—20 h
Windecke	16,2	42,0	13,9	5,7
Unteres Seslerietum	12,6	21,8	7,4	4,5
Oberes Seslerietum	13,7	25,6	9,0	5,0
Vorderes Nardetum	11,6	24,9		
Hinteres Nardetum		28,2	10,8	4,3
Vorderes Empetretum	12,6	24,6	8,7	2,2
Hinteres Empetretum			9,7	1,6

Diese zeigen die bereits erwähnten Unterschiede zwischen den einzelnen Stationen. Der August ergibt die höchste Verdunstung unter den Beobachtungstagen, während der Junitag nicht einmal

halb so hohe Werte aufweist und die Oktobertage noch stärker abfallen.

Die stündlichen Verdunstungsmessungen erreichen in den günstigsten Tagesstunden im Juni Beträge von etwa 2 cm^3 (Höchstbetrag $2,8 \text{ cm}^3$), im August etwa $2,5\text{—}3 \text{ cm}^3$ (Maximalbetrag $4,6 \text{ cm}^3$), am 2. Oktober etwa $0,8\text{—}1,0 \text{ cm}^3$ (Maximalbetrag $1,5 \text{ cm}^3$) und am 5. Oktober etwa $0,7 \text{ cm}^3$ (Maximalbetrag $0,8 \text{ cm}^3$).

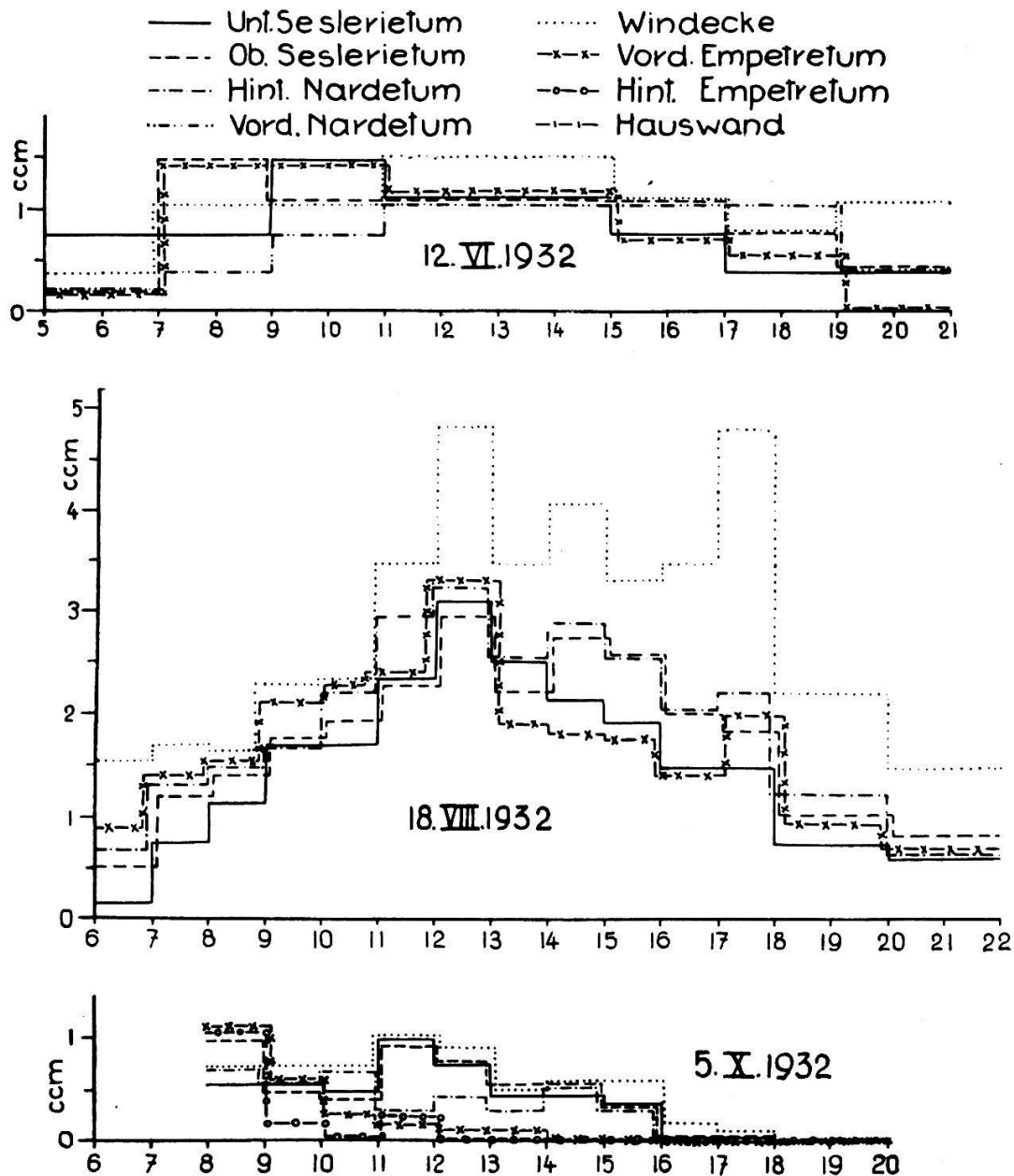


Abb. 89. Stündliche Werte der Verdunstungsgröße in verschiedenen Pflanzengesellschaften am 12. Juni, 18. August und 5. Oktober 1932.

In der Abbildung 89 sind die Kurven dieser Stundenwerte für 3 Beobachtungstage aufgezeichnet. Am 12. Juni fanden die Ablesungen nur alle 2 Stunden statt. Zwischen 7 und 9 Uhr erfolgte ein starkes Ansteigen der Verdunstung, die im vorderen Empetretum und oberen Seslerietum schon in diesem Zeitpunkt den Maximalwert erreicht. Im unteren Seslerietum stieg die Verdunstung erst zwischen 9 und 11 Uhr an und gelangte ebenfalls gleich auf den Maximalwert. Ein wiederholtes Ansteigen brachte die Verdunstung in der Windecke und im vorderen Nardetum erst zwischen 11 und 13 Uhr auf den Höchstwert, zu einer Zeit, da sie in den übrigen Stationen bereits im Abfall begriffen war. Von 11 bis 15 Uhr fanden keine Veränderungen statt. Dann trat ein allgemeiner Abfall ein, am ausgeprägtesten im unteren Seslerietum und im vorderen Empetretum, in dem die Verdunstung von 19 Uhr an ganz aufhörte. In der Windecke dagegen nahm die Verdunstung von 19 bis 21 Uhr wieder etwas zu. Die Verdunstung setzt also am Morgen kräftig ein, sobald der Tau aufgetrocknet ist, was an den verschiedenen Standorten zu ungleicher Zeit der Fall ist und nimmt in der Mehrzahl der Stationen bereits gegen Mittag hin, in den übrigen im mittleren Nachmittag wieder ab. Wir wissen, daß an diesem Tage von Mittag an Bewölkung eintrat, was auf die Verdunstung hemmend einwirkte.

Der Verdunstungsgang eines Strahlungstages tritt infolgedessen am 18. August besser hervor. Hier finden wir ein schönes und ziemlich parallel gehendes Ansteigen vom frühen Morgen bis um 13 Uhr und dann ein weniger regelmäßiges Absteigen im Laufe des Nachmittages. Im Aufstieg steht die Windecke um ein wenig über den übrigen Stationen, und ihr folgt bis um 11 Uhr das vordere Empetretum, während das untere Seslerietum in dieser Zeit die geringsten Verdunstungswerte aufweist. Um Mittag ändert sich die Reihenfolge. Das hintere Nardetum beginnt sich vorzuschieben und gelangt an die zweite Stelle. Das Empetretum kann den zweiten Platz nochmals von 12—13 Uhr einnehmen, fällt dann aber unvermittelt auf den letzten Platz zurück. Das obere Seslerietum, das gewöhnlich eine mittlere Stellung einnimmt, erhöht seine Verdunstung zur Zeit des Verdunstungsmaximums, von 11—13 Uhr, am wenigsten, so daß es von allen anderen Stationen überholt wird. Von Mittag an steigert die Windecke ihre Ver-

dunstung weitaus am stärksten und behält die hohen Werte bis 18 Uhr bei. Sie steht infolgedessen von 12 Uhr an weit über den andern Stationen. Zwischen 14—15 und 17—18 Uhr ist bei verschiedenen Stationen eine vorübergehende Zunahme der Verdunstung festzustellen. Sie betrifft vor allem die Windecke und außerdem das erstemal hinteres Nardetum und oberes Seslerietum, das zweitemal hinteres Nardetum und vorderes Empetretum und ist auf den lokal wirkenden Windeinfluß zurückzuführen. Charakteristischerweise fehlt diese Verdunstungssteigerung im unteren Seslerietum gänzlich. Diese Kurve ist denn auch die einzige, die im Anstieg und im Abstieg ganz regelmäßig verläuft.

Die verschiedenen Faktoren, deren Kombination die Verdunstungsgröße bedingt, erzeugen also auch an einem Strahlungstag Unregelmäßigkeiten, und namentlich erweisen sich bereits schwache und mittlere Windbewegungen als sehr einflußreich.

Die Verdunstung des 2. Oktobers, von der wir keine bildliche Darstellung bringen, ist gegenüber den sommerlichen durch einen viel schwächeren Anstieg der Stundenwerte unterschieden. Im übrigen verläuft sie ziemlich regelmäßig mit dem Tagesmaximum zwischen 10 und 11 Uhr und einem neuen, kleinen und etwas unregelmäßigen Anstieg zwischen 12 und 15 Uhr. Die gegenseitige Stellung der verschiedenen Stationen zeigt viele Schwankungen; die Ablesung mit dem Meßglas ist bei so kleinen Beträgen zu ungenau, als daß die oft um kleine Bruchteile eines Kubikzentimeters verschiedenen Stundenbeträge der einzelnen Stationen eine sichere Rangliste abgeben würden. Immerhin ist die Windecke auch hier in der Führung, steht aber nicht mehr so weit über den übrigen Stationen. Zur Zeit der Maxima kommt ihr das hintere Nardetum am nächsten. Die beiden Empetretumstationen sind am Morgen relativ hoch, das hintere Empetretum auch zeitweise am Nachmittag.

Am 5. Oktober konnte die Verdunstung wegen des Frostes erst von 8 Uhr an beobachtet werden. Bald machte der Nebel, der von 9 Uhr an wiederholt vorübergehend aufstieg, seinen hemmenden Einfluß auf die Verdunstung geltend, so daß kein richtiger Anstieg zustande kam. Schon nach 9 Uhr tritt der erste Abfall ein, von dem sich die Empetretumwerte nicht mehr erholen; ihre Verdunstungswerte sind von 10 Uhr ab sozusagen null. Die Kurven

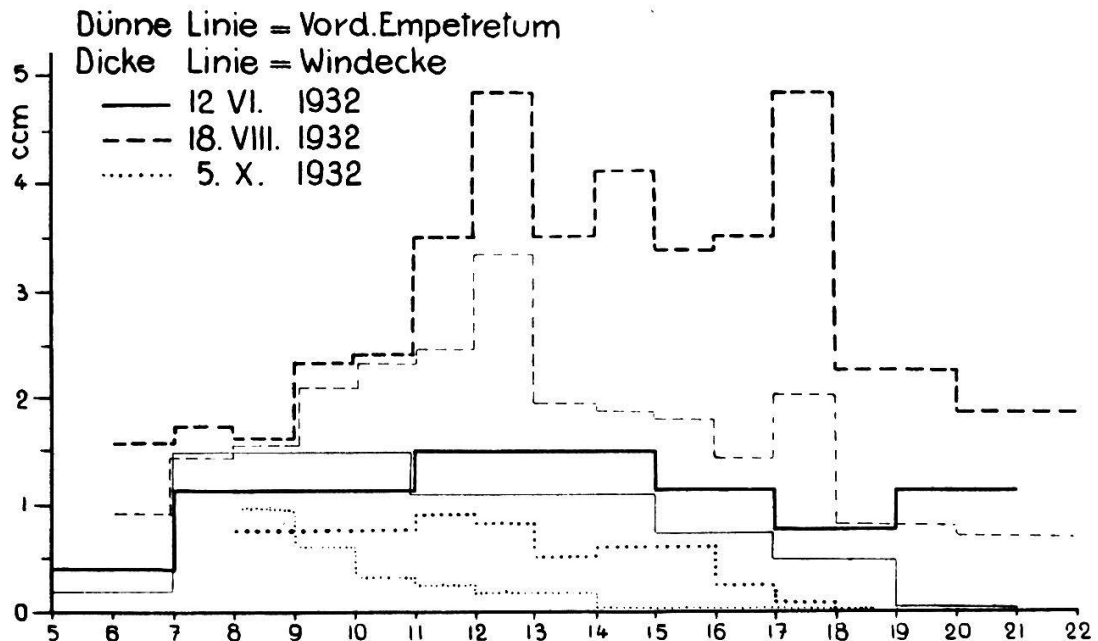


Abb. 90. Stündliche Werte der Verdunstungsgröße auf der Windecke und im vorderen Empetretum am 12. Juni, 18. August und 5. Oktober 1932.

der übrigen Stationen schwanken von 9 bis 15 Uhr zwischen 1 und 0,5 cm³ mit unregelmäßigen, kleinen Gipfeln, wobei die Windecke wiederholt von andern Stationen erreicht oder leicht übergipfelt wird. Zwischen 16 und 18 Uhr unterbrach der eintretende Frost die weitere Verdunstung.

Zur übersichtlichen Veranschaulichung haben wir in Abbildung 90 die Verdunstungskurven der extremen Stationen, der Windecke und des vorderen Empetretums, für die Hauptbeobachtungstage zusammengestellt.

8. Die Niederschläge

Es schien angezeigt, zu untersuchen, ob innerhalb des Alpengartens wesentliche und gesetzmäßig verteilte Unterschiede in der Niederschlagshöhe vorhanden seien. Wir prüften dies dadurch, daß wir in den Jahren 1933, 1934 und 1942 eine Anzahl Regenmeßstationen errichteten.

Zur Verwendung kamen Regenmesser der Konstruktion Helbling, die aber nur eine Höhe von 40 cm aufwiesen. Sie wurden 15 cm in den Boden eingegraben, so daß sie etwa 25 cm weit vorstanden, also den Rasen deutlich überragten (vgl. Abb. 73—74). Die Kontrollen erfolgten jeweils des Morgens, im Jahre 1933 von Mitte August bis 23. September, im Jahre 1934 vom 9. Juni bis Ende September und im Jahre 1942 vom 15. Juni bis Ende September. Die Stationen hatten folgende Lage (vgl. Abb. 51):

1. Normalstation, 1 m über dem Boden, im Crepideto-Festucetum-Rasen neben dem Bankplatz, flach SE, im Jahre 1942 wegen der aufgewachsenen Hochstauden etwas gegen Westen verschoben (s. S. 207).
2. Unteres Seslerietum an der mikroklimatischen Beobachtungs-Station, steil ESE, etwas zurückliegend.
3. Oberes Seslerietum, steil SE, Nähe der mikroklimatischen Beobachtungs-Station.
4. Oberes Seslerietum, steil SW.
5. Hochstauden westlich der zentralen Kuppe, flach E. Mußte im Jahre 1942 wegen der stärkeren Ausbreitung der Hochstauden etwas gegen Süden verschoben werden.
6. Windecke, neben der mikroklimatischen Beobachtungs-Station, flach.
7. Hinteres Nardetum, neben der mikroklimatischen Beobachtungs-Station, flach E.
8. Vorderes Empetretum, neben der mikroklimatischen Beobachtungs-Station, steil NNE.
9. Hinteres Empetretum, neben der mikroklimatischen Beobachtungs-Station, steil NE.

Die Ergebnisse der Niederschlagsmessungen sind in Tabelle 82 zusammengestellt, wobei einige Korrekturen von offensichtlich fehlerhaften Eintragungen vorgenommen wurden, die aber auf das Gesamtergebnis nicht von Einfluß sind. Naturgemäß ergeben die einzelnen Monate und Sommer große, von den Witterungsverhältnissen bewirkte Schwankungen.

TABELLE 82

Niederschläge in den verschiedenen Beobachtungsstationen des Alpengartens während der Sommer 1933, 1934, 1942. Angaben in mm.

Zeit	1. Normal- Stat.	2. Unt. Sesler.	3. Ob. Ses- ler. SE	4. Ob. Ses- ler. SW	5. Hoch- stauden	6. Wind- ecke	7. Hint. Nardet.	8. Vord. Empetr.	9. Hint. Empetr.
1933 VIII. (13./31.)	58,2	52,8	55,5	56,9	59,2	46,5	56,3	56,4	54,2
IX. (1./23.)	184,8	182,9	181,4	184,9	194,0	167,4	187,2	174,3	183,8
1934 VI. (9.—30.)	195,6	190,4	192,6	184,5	214,7	164,9	189,2	178,1	187,5
VII.	147,2	143,2	137,3	142,7	146,9	127,6	142,9	127,1	140,1
VIII.	164,9	164,5	168,7	169,0	172,5	145,1	168,1	147,0	161,3
IX.	119,6	110,5	109,1	109,1	121,4	101,5	107,4	109,3	113,8
1942 VI. (15./30.)	61,7	83,9	74,9	73,9	75,2	45,4	66,5	70,3	85,0
VII.	146,1	162,6	152,6	149,2	151,1	128,1	151,5	138,3	146,8
VIII.	195,1	194,0	174,9	186,7	199,1	164,0	191,3	177,0	188,8
IX.	127,0	127,6	122,5	130,1	136,5	97,1	123,0	121,8	132,3
Total 1933	243,0	235,7	236,9	241,8	253,2	213,9	243,5	230,7	238,0
1934	627,3	608,6	607,7	605,3	655,5	539,1	607,6	561,5	602,7
1942	529,9	568,1	524,9	539,9	561,9	434,6	532,3	507,4	552,9
Total 3 Sommer	1400,2	1412,4	1369,5	1387,0	1470,6	1187,6	1383,4	1299,6	1393,6

Die Unterschiede in der Niederschlagsverteilung innerhalb des kleinen Raumes des Alpengartens sind beträchtlich und gesetzmäßig. In der Gesamtsumme der 3 Sommer ergibt sich zwischen der Station mit dem höchsten Niederschlag und derjenigen mit dem Mindestwert ein Unterschied von 283 mm oder rund 20 %. Die dazwischenliegenden Stationen verteilen sich etwas unregelmäßig, so daß wir mehrere Gruppen unterscheiden können (vgl. auch Abb. 91):

1. Station Hochstauden = 1470 mm;
2. Unteres Seslerietum, Normalstation, oberes Seslerietum S, hinteres Nardetum, hinteres Empetretum, oberes Seslerietum SE = 1369—1412 mm;
3. Station vorderes Empetretum = 1299 mm;
4. Station Windecke = 1187 mm.

Schon der Vergleich der einzelnen Jahre und Monate, noch viel mehr aber der einzelnen Niederschläge, zeigt eine große Vielgestaltigkeit. Stetsfort hat die Windecke weitaus die geringsten Niederschläge. Das gilt für jeden einzelnen Beobachtungsmonat (zweimal steht ihr allerdings das vordere Empetretum sehr nahe) und auch für die meisten der einzelnen Niederschläge. Wir haben in Tabelle 83 die Verteilung der Maximal- und der Minimalwerte der Niederschläge einzelner Tage auf die verschiedenen Stationen zusammengestellt. Die Windecke hat kein einzigesmal den Höchstwert geliefert, wohl aber in 85 Fällen den Mindest-

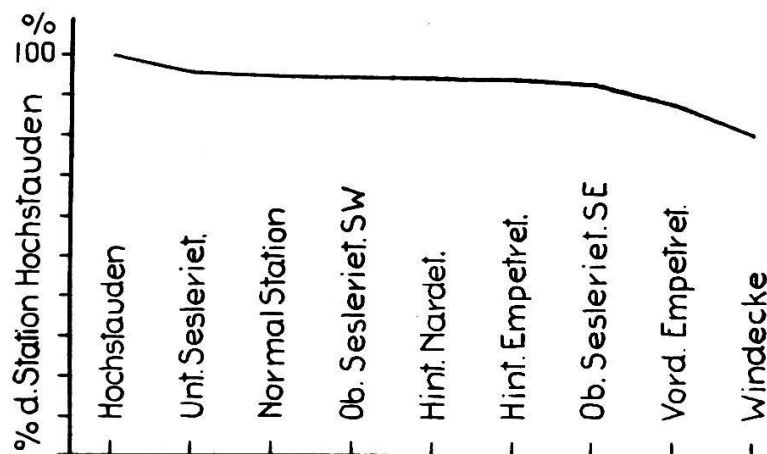


Abb. 91. Niederschlagssummen in den einzelnen Pflanzengesellschaften während der Sommer 1933, 1934, 1942, bezogen auf die Station Hochstauden = 100.

TABELLE 83

Verteilung der höchsten und kleinsten Tagesniederschläge während der Beobachtungszeit in den Sommern 1933, 1934, 1942 auf die verschiedenen Stationen.

Zeit	1. Norm. Stat.		2. Unt. Sesl.		3. Ob. Sesl. SE		4. Ob. Sesl. SW		5. Hoch- stauden		6. Wind- ecke		7. Hint. Nard.		8. Vord. Emp.		9. Hint. Emp.	
	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi	Ma	Mi
1933 VIII. (13./31.)	1		1		1	1			5		4	2			1	3		
IX. (1./23.)	1				1				7		10						3	
1934 VI. (9./30.)	2		1		2	1	2		10		8	1	1		4	2		
VII.	1	1	2		2	1	2		6		9	1			2	2	2	
VIII.	4	1	1	1	2		2		11		14	1	2		2	7	1	2
IX.	2		2			1			4		6				2	2	1	1
1942 VI. (15./30.)			3			1			1		4				1		1	
VII.	1	1	6	1	1	1	4		3		12				2	1	4	
VIII.	1		5		1	3			7		12	1				1	2	
IX.	1	1	1			1			4		6	1					2	
Total	14	4	21	3	8	11	11		58		85	7	3		10	20	18	3

Zeigten mehrere Stationen bei einem Niederschlag den gleichen Höchstwert oder Mindestwert, so wurden sie alle gezählt.

wert. Nach ihr hat das vordere Empetretum die größte Zahl von Minimalwerten. Andererseits haben die Hochstauden und das obere Seslerietum-SW keinen einzigen Minimalwert geliefert, und die meisten anderen Stationen nur sehr wenige. Die Verteilung der Maximalwerte ist weniger einseitig. Zwar entfällt weitaus der größte Anteil auf die Hochstauden-Station; aber sehr häufig sind sie im unteren Seslerietum und im hinteren Empetretum aufgetreten und reichlich auch in den übrigen Stationen, mit Ausnahme der Wind-ecke.

Mehrere Stationen haben ihre Stellung in den verschiedenen Jahren merklich geändert. So steht in den Gesamtniederschlägen die Station unteres Seslerietum im Sommer 1933 erst an siebenter Stelle, im Sommer 1934 an vierter Stelle und im Sommer 1942 an erster Stelle. Die Lage der Station wurde nicht verändert; doch sind die südwestlich von ihr stehenden Picea-Grotzen etwas höher aufgewachsen. Ferner hat sich gezeigt, daß diese Station infolge

ihrer geschützten Lage bei gewissen starken Niederschlägen und vor allem bei Schneefall besonders hohe Werte aufweist. Bei starken Schneefällen häuft sich der Schnee hier und ähnlich auch im oberen Seslerietum zwischen Regenmesser und Berghang und erhöht dadurch die Niederschlagswerte bedeutend. Dies ist im Sommer 1942 viermal geschehen mit den größten Niederschlagswerten des Sommers. Wenn wir diese Tage nicht in Berechnung ziehen, so fällt das untere Seslerietum um mehrere Ränge zurück.

Für die Niederschlagssummen einzelner Tage kann das Verhältnis der verschiedenen Stationen und damit auch ihrer Reihenfolge sehr schwanken, was bereits aus den angegebenen Zahlen für die Maximalwerte und die Minimalwerte hervorgeht. Wir geben in Tabelle 84 einige Beispiele aus dem Jahre 1942.

TABELLE 84

Maximal- und Minimalwerte einzelner Tagessummen der Niederschläge im Jahre 1942.

Tag	Maximalwert		Minimalwert	
	mm	Ort	mm	Ort
15./16. VI.	41,2	Unteres Seslerietum	8,2	Windecke
28. VI.	5,5	Hinteres Empetretum	2,5	Windecke
17. VII.	31,8	Hochstauden	24,2	Windecke
1. VIII.	18,9	Hochstauden	9,8	Windecke
26./28. IX.	59,3	Unteres Seslerietum	34,4	Windecke

In anderen Fällen sind die Niederschläge der verschiedenen Stationen beinahe übereinstimmend, vor allem bei kleinen Beträgen, aber auch bei anhaltendem Landregen. So liegen am 24. August 1942 die Grenzwerte zwischen 47,3 mm (unteres Seslerietum) und 41,1 mm (oberes Seslerietum SE).

Die geringen Werte der Windeckenstation sind die Folge der dort besonders stark wehenden Winde, die den Regen über das Auffanggefäß hinwegschleudern, während die hohen Werte der Hochstaudenstation und des unteren Seslerietums bereits einer Windschattenwirkung entsprechen. Der meiste Regen kommt aus der Nord- oder Nordostrichtung, und das untere Seslerietum, das obere Seslerietum SW und die Hochstaudenstation liegen im Windschutz, wo sich der Regen, soweit er mit starker Windströmung verbunden ist, leichter niederschlägt. Vielleicht üben auch schon

die Hochstaudenbestände selber auf die hinter ihnen liegenden Rasen eine leichte Schutzwirkung aus (Station Hochstauden). Diese Steigerung der Niederschläge im lokalen Windschatten wird auch von Geiger (1942, S. 228) besonders hervorgehoben.

Im Zusammenhang mit etwas wechselnder Windstärke oder Windrichtung können sich die Niederschläge in den verschiedenen Stationen merklich verändern. So scheinen sowohl die Seslerietumhänge als auch die Empetretumhänge in bezug auf die Niederschläge wesentlich differenziert, wahrscheinlich hauptsächlich infolge der verschiedenen Zugänglichkeit für die Winde. Zur eingehenden Diskussion dieses Problems reichen aber unsere Beobachtungen nicht aus. Viele kleine Unterschiede gleichen sich im Laufe des Sommers wieder aus.

Zur Differenzierung der Vegetation genügen jedenfalls die in den Niederschlägen festgestellten Unterschiede zwischen den verschiedenen Beobachtungsstationen nicht. Auch die Windecke mit 20 % geringeren Niederschlägen erhält noch reichlich genügend Niederschlag für eine anspruchsvolle Vegetation, und das Problem der Wasserversorgung stellt sich erst, wenn wir auch die Verdunstung betrachten.

9. Die Taubildung

Während der Vegetationszeit ist auf der Schinigeplatte in den niederschlagsfreien Nächten eine kräftige Taubildung die Regel. Sie fällt nur in den Nächten mit starker Föhnströmung aus. Das Gras wird tropfend naß und trocknet oft erst gegen Mittag auf. Auch die Wege sind am Morgen oft naß. Die Beobachtung lehrt aber, daß mancherlei Unterschiede vorhanden sein müssen. So ist im allgemeinen das Gras in den flacheren mittleren Teilen des Alpengartens (Nardetum und Frischwiese) stärker taunaß als im Seslerietum. Gelegentlich tritt auch der umgekehrte Fall ein. Merkwürdig ist das Verhalten der bekiesten Gartenwege. Diese sind selten im ganzen Garten gleichmäßig betaut, sondern ein Teil von ihnen erscheint naß, ein Teil feucht, ein Teil trocken, wobei sich diese verschiedenen Feuchtigkeitsgrade unregelmäßig verteilen, bald hier, bald dort auftreten. Immerhin sind gerade die Wege, die durch das untere Seslerietum zum Bankplatz füh-

ren, verhältnismäßig oft taunaß, ebenso diejenigen im hinteren Nardetum und in der hinteren Frischwiese, während der Weg längs des Ostfußes des Gartens und der Ausgangsweg gegen das Haus hin häufiger trocken bleiben. Sehr häufig beobachten wir auch, daß ein Teil der Wegbreite trocken ist, ein Teil naß, bald die inneren, gegen den Hang hin gelegen Teile, bald der gegen außen hin gelegene Rand. Benachbarte Wegstücke können sich zur gleichen Zeit ungleich verhalten, indem einzelne Stücke auf der Außenseite, andere auf der Innenseite taunaß sind. Oder dann sind nur die kleinen Steine naß und die größeren trocken. So ergibt sich ein außerordentlich vielgestaltiges Spiel der Faktoren, welche die Taubildung beeinflussen, unter denen neben der relativen Luftfeuchtigkeit und den Temperaturschwankungen die Ausstrahlungsvorgänge des Bodens und die Luftströmungen einen wichtigen Einfluß ausüben.

Die Taubildung kann für die Wasserversorgung der Pflanzen von wesentlicher Bedeutung sein. E. Hiltner (1930, 1932) hat dies eingehend begründet. Er wies nach, daß der Tauniederschlag auf den größeren Pflanzenteilen mehrfach größer ist als auf den von ihm als Tausammler verwendeten Roßhaarsieben und daß ein bedeutender Teil des Tauwassers direkt aufgenommen wird. Angesichts der starken und regelmäßigen Taubildung im Gebiet der Schinigeplatte erschien es zweckmäßig, diesen Vorgang in unseren verschiedenen Pflanzengesellschaften genauer zu erforschen. Wir benutzten dazu die von Erich Leick (1932, 1933) erfundenen, 1 dm² großen Tauplatten aus einer Mischung von Gips und Kieselgur.

Die Platten wurden genau nach Originalplatten angefertigt, die uns Prof. Leick in freundlicher Weise überlassen hat. Doch gossen wir nach einigen Versuchen die Platte in die Zinnschale fest ein, wodurch sie gegen Verletzung viel widerstandsfähiger wurde. Wir wägen also Schale und Platte als Einheit miteinander, während Leick die Platte aus der Schale herausnimmt und gesondert wägt. Durch unser Vorgehen wurde die Platte geschont und vermieden, sie mit den Händen zu berühren. Außerdem verhinderten wir die unkontrollierbare und wohl auch ungleich große Kondensation von Wasser zwischen Platte und Schale. Nachteile schienen sich aus diesem festen Einschluß der Platten keine zu ergeben. Im allgemeinen zeigen die Platten jeden Abend, nachdem sie tagsüber der freien Luft ausgesetzt worden waren und sich bei zunehmender Luftfeuchtigkeit hygroskopisch aufladen konnten, bis auf wenige Zentigramm genau das gleiche Gewicht. Gelegentlich treten aber in dieser Angleichung Störungen auf, so daß wir es vorzogen, die Platten jeweils des Abends vor dem Auslegen nachzuwägen.

Wir gingen also wie folgt vor: Die Tauplatten wurden des Abends zwischen 18 und 19 Uhr, je nach der Witterung, gewogen und dann an die verschiedenen Standorte flach auf die Vegetation gelegt (vgl. Abb. 74, S. 321). Blätter oder Stengelchen, die über die Platte vorstuden, schnitten wir weg, so daß ein Abtropfen von Tau auf die Platte verhindert wurde. Oft wurden zwei Platten nebeneinander in der gleichen Gesellschaft ausgelegt, um eventuell auf kleinem Raume vorhandene Unterschiede im Tauniederschlag zu erfassen. Im Empetretum legten wir gewöhnlich eine Platte auf das Spaliergesträuch und oft eine zweite Platte auf den nackten, dunklen Rohhumus. Am Morgen, unmittelbar vor Sonnenaufgang, holten wir die Platten wieder ein, trockneten sie auf der Außenseite sorgfältig ab, wogen sie und legten sie zum Austrocknen an die Sonne. Vom Mittag an hielten wir sie im Schatten, meistens auf einem Tisch des Laboratoriums.

Die meisten Messungen wurden im August ausgeführt. Dazu kamen Messungen im Frühling und Herbst, die, entsprechend unseren kurzen Aufenthalten auf der Schinigeplatte in diesen Jahreszeiten, weniger zahlreich ausfielen. Ein geordneter Zyklus von Beobachtungen war auch wegen des Wetters nicht möglich. Es gab Aufenthaltsperioden, während denen es beinahe täglich regnete oder des Abends doch mit Regen drohte und wir kaum eine Messung ausführen konnten. Gelegentlich erhielten die Platten einen Regenguß, und einmal nahmen sie durch starke Benetzung Schaden. Die in unseren Zusammenstellungen verwendeten Messungen sind aber alle einwandfrei durchgeführt worden. Verregnete Platten wurden ausgeschaltet.

In der Tabelle 85 sind die Ergebnisse der Taumessungen zusammengestellt. Die Werte von mehreren, zur gleichen Zeit nebeneinander in der gleichen Pflanzengesellschaft ausgelegten Platten sind untereinandergestellt. Die Tabelle zeigt die große Variabilität des Tauniederschlages. Das gegenseitige Verhältnis der einzelnen Stationen ist immer wieder anders: Jede Station kann bei den täglichen Ergebnissen oben oder unten in der Reihe stehen. Platten, die nebeneinander in der gleichen Pflanzengesellschaft ausgelegt wurden, weichen oft ganz bedeutend voneinander ab. Im Seslerietum und Empetretum sind Unterschiede in der Geländebildung vorhanden (Absätze, Stufen, Ecken, Mulden) sowie in der floristischen Zusammensetzung (Zwerggesträuch, Spaliergesträuch, Grashorste, offene Stellen), die eine Variation der Taubildung erwarten lassen. Wir finden aber solche Verschiedenheiten auch in homogenen Rasen des Nardetums, der Frischwiese und im flachen Spaliergesträuch der Windecke, wo morphologische oder floristische Differenzierungen ganz unbedeutend sind. Bei diesen Verschiedenheiten in der Taubildung handelt es sich offensichtlich um lokale und dem Wechsel unterworfenen Unterschiede innerhalb einer an sich gleichartigen Pflanzengesellschaft, die vor allem durch Ausstrahlung und lokale Luftzirkulation hervorgerufen werden. Sie zeigen, daß auch eine von uns als homogen

TABELLE 85

Messung der Taubildung mit Tauplatten nach E. Leick in den verschiedenen Pflanzengesellschaften des Alpengartens.

RL = Relative Luftfeuchtigkeit in % an der Hauswand; T = Temperatur in C° an der Hauswand; W = Wind; B = Bewölkung; N = Nebel; ab = abends, beim Auslegen der Tauplatten (18—19 Uhr); mo = morgens, beim Einholen der Tauplatten, vor Sonnenaufgang; b = Boden bewachsen; n = Boden nackt. Die umrandeten Werte (10./11. VI. 1937, vordere Frischwiese, und 7./9. VI. 1938, unteres Nardetum) wurden auf Schnee gemessen.

Datum	Bemerkungen zur Wetterlage	Taubiederschlag in g pro dm²									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
1933											
VIII. 11./12.	RL: ab 77, mo 77 %		1,87		1,83				1,21	0,54	0,80
13./14.	RL: ab 63, mo 33 %	0,20	0,09		0,14				0,09	0,10	0,22
15./16.	RL: ab 86, mo 76 %	0,50	0,74		2,42				2,20	1,98	1,90
17./18.	RL: ab 90, mo 70 %	1,31	1,49		2,09				1,80	1,66	1,69
18./19.	RL: ab 90, mo 63 %	1,90	1,70		2,65				3,03	2,43	2,58
19./20.	RL: ab 80, mo 65 %. Platte, 2, 4, 9, 10 trock., 1 feucht, 8 naß	0,71	0,55		0,53				1,32	0,49	0,85
IX. 28./29.	RL: mo 47 %. Platte 9, 10 trock., 1, 2, 4, 8 naß	0,87	1,34		1,26				1,52	0,95	0,90
29./30.	RL: ab 45, mo 45 %. T: ±8°, W: 0. Alle Platten unters. naß	1,49	1,47		1,93				2,20	1,65	1,70
30./1. X.	RL: ab 40, mo 42 %. W: schwach S. Nur Platten 2 u. 8 unters., etw. naß	0,43	0,58		0,41				0,51	0,53	0,45
X. 1./2.	RL: ab 55, mo 50 %. Platten wie gestern	0,52	0,79		0,52				0,72	0,48	0,57
1934											
VI. 10./11.		0,27	0,20		0,87				0,57	0,50	0,47
VIII. 15./16.	RL: ab 97, mo 55 %	1,28	1,15		1,66				1,25	1,66	1,42
16./17.	RL: ab 87, mo 50 %	1,94	2,02		2,63				2,36	2,21	1,93
17./18.	RL: ab 77, mo 80 %	2,25	2,27		3,15				2,54	3,20	2,75

Datum	Bemerkungen zur Wetterlage	Tauniederschlag in g pro dm ²									
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
		Unteres Sesterietum	Oberes Sesterietum SE	Oberes Sesterietum S u. SW	Windecke	Vorderes Festucetum	Hinteres Festucetum	Vorderes Nardetum	Hinteres Nardetum	Vorderes Empetretum	Hinteres Empetretum
IX. 27./28.	RL: ab 72, mo 60 %. T: ab 9, mo 8°. W: 0. B: 0. Platten 9, 10 trock., übr. naß	1,17	1,74		1,30	2,49	2,25	1,95	2,25	0,69	0,87
28./29.	RL: ab 58, mo 94 %. T: ab 9, mo 6°. W: 0. B: 0. Wege naß, Platten unters., naß	1,76	2,38		3,31	3,77	3,57	3,96	3,57	2,34	2,65
29./30.	RL: ab 94, mo 93 %. T: ab 9, mo 6°. B: schwach	2,28	3,22		4,25	3,39	3,60	3,65	3,60	3,31	3,32
1935											
VIII. 7./8.		2,10	1,90		2,02	1,85	0,97	2,22	2,07	1,71	1,67
11./12.		1,23	2,11		2,16	1,78	1,63	2,33	2,56	1,67	1,58
1936											
VI. 18./19.	RL: ab 90, mo 90 %. T: ab 12, mo 9°. W: 0. B: ab 5/10, mo 0	1,31	1,88		2,09	2,18	2,32	1,33	1,95	1,25	1,16
VIII. 14./15.	RL: ab 90, mo 78 %. T: ab 10, mo 5°. W: 0. B: 0	2,29	2,06	2,02	2,15	1,51	1,96	2,23	2,23	1,62	2,01
15./16.	RL: ab 90 %. T: ab 10,5°	2,25	2,52	2,05	2,53	2,18	1,78	2,75	2,43		2,20
18./19.	RL: ab 72, mo 88 %. T: ab 10,5° Etwas Nordwind, bew.	2,37	2,47	2,02	3,04	2,03	1,54	1,90	2,06	1,80	1,87
1937		2,26	2,20		2,00						
VI. 10./11.	RL: ab 37, mo 34 %. T: ab 13,5, mo 14° Vord. Festucet. auf Schnee	0,09	0,22	0,17	0,42	0,93		0,25		n: 0,42	
11./12.	RL: ab 90, mo 75 %. T: ab 12, mo 9°. W: 0. B: ab 0, mo 1/2	0,11				0,98		0,55		n: 0,39	
18./19.	RL: ab 90, mo 90 %. T: ab 10, mo 6°. W: 0. B: ab 9/10, mo 0. Zeitw. N.	1,96	1,68		2,40	1,54	1,50	1,74	2,00	n: 0,34	b: 2,23
		1,75	1,60		2,25	1,10	1,79	2,00	1,73	n: 1,40	b: 2,07

Tanniederschlag in g pro dm²

Datum	Bemerkungen zur Wetterlage	1. Unter Seslerietum	2. Oberes Seslerietum SF	3. Oberes Seslerietum S u. SW	4. Windecke	5. Vorderes Festucetum	6. Hinteres Festucetum	7. Vorderes Nardetum	8. Hinteres Nardetum	9. Vorderes Empetretum	10. Hinteres Empetretum
19./20. 1938	RL: ab 90, mo 89%. T: ab 10, mo 6,5°. Wenig Wind, bew.- bed., zeitw. N.	1,75	1,38		1,59	1,65	2,05	1,80	1,93	n: 1,50	b: 2,17
VI. 7./8.	T: 6,5°		1,20					2,09		n: 1,26	
	Vord. Nardet. auf Schnee							3,71		b: 0,92	
8./9.	T: 7,5°		0,95					1,50		n: 0,96	
	Vord. Nardet. auf Schnee							4,15		b: 1,13	
VIII. 15./16.	RL: ab 90, mo 90%. T: 2°. Ab N, mo klar. Wege trocken		0,94		1,42 1,30		0,99		0,84 0,92	n: 0,95 n: 0,77	n: 0,97
16./17.	RL: ab 90, mo 50%. T: ab 8, mo 6°. Etw. bew., mo etw. Wind	1,60 1,58	1,27	1,66	1,69 1,65	1,62	1,36	1,39 2,05	1,56 1,41	n: 1,31 n: 1,22	n: 1,17
18./19.	RL: ab 68, mo 30%. T: ab 9, mo 8°. B: 0. Wege z. T. feucht	1,60 1,95	1,64	2,11	2,10 1,55	1,80	1,35	1,27 1,77	1,63 1,40	n: 0,90 n: 1,19	n: 0,74
1939											
VI. 18./19.	RL: ab 89, mo 89%. T: ab 4,5, mo 4, min. 1°. Bed., geg. mo aufhellend	0,44 0,91	0,92	1,05	1,51 1,41	2,70 2,74		1,64 1,37		n: 1,05 n: 1,02	
VIII. 14./15.	RL: ab u. mo 90%. T: ab 7, mo 5°. Meist N., ab etwas Bise	1,12 2,00	1,78	1,49	1,81 2,46	1,57	1,68	1,69 1,96		1,49	1,68
15./16.	RL: ab 90, mo 52%. T: ab 7, mo 2,5°. W: 0. Ab bew., mo klar. Stellenweise Reif	1,35 2,06	2,18	1,57	2,21 1,91	1,68	1,97	1,85 1,77		1,61	1,81
16./17.	RL: ab 80, mo 63%. T: ab 6, mo 4°. Etw. Bise, leicht bew.	1,79 1,12	1,74	1,70	1,68 2,06		1,42	1,60 1,52		1,31	1,48
17./18.	RL: ab 90, mo 58%. T: ab 11, mo 6°. W: 0. Klar. Tau s. ungl.	1,82 1,55	2,15	1,83	2,11 2,51	1,80	2,28	1,90		1,05 1,26	1,56
1942											
VI. 18./19.	RL: mo 94%. T: mo 0°. Bew.: klar. Starker Reif	1,20 1,67	1,70 1,86		2,60 2,61			2,26 2,04	2,74 2,55 2,24	2,12 2,01	2,34 2,80

Datum	Bemerkungen zur Wetterlage	Tauniederschlag in g pro dm ²									
		1. Unter- seslerietum	2. Obere- seslerietum SE	3. Obere- seslerietum S u. SW	4. Windecke	5. Vorderes Festucetum	6. Hinteres Festucetum	7. Vorderes Nardetum	8. Hinteres Nardetum	9. Vorderes Empetretum	10. Hinteres Empetretum
19./20.	RL: mo 75 %. T: mo 8°. Nebel, mo klar und Tiefennebel	1,30	1,08		1,36			1,36	1,11	0,88	1,28
22./23.	RL: mo 85 %. T: mo 10,5°. Zeit- weise neblig. Tau stark	0,78 1,97 1,76	1,22 1,98 2,22		1,38 2,82 2,84		2,08	1,40 2,47 2,62	1,39 1,26 2,41 2,39	0,88 b: 1,90 n: 1,57	1,09 b: 1,87 n: 2,35
23./24.	RL: mo 65 %. T: mo 10°. B: bew., mo klar. Wege vorw. trock.	2,22 2,29	2,19 2,41		2,91 2,54		2,18	2,67 2,53	2,72 2,45	b: 2,04 n: 1,66	b: 2,40 n: 1,52
VIII. 10./11.	RL: ab 90, mo 55 %. T: ab 10, mo 8°. Klar. W: 0. HN u. HF etw. Reif u. Platten angefror.	1,36 1,62	1,94 2,19		2,11 2,41		1,94	2,03 2,16	2,10 1,77	b: 1,76 n: 1,59	b: 2,31 n: 1,58
17./18.	RL: ab 80, mo 90 %. T: ab 14, mo 11°. B: bew., Wind: ab 0, mo l. W-Wind. Wege naß	2,43 2,39	1,86 2,02		2,45 2,55		2,05	2,81 2,82	2,41 2,60	b: 2,11 n: 1,96	b: 2,58 n: 1,81
IX. 30./1. X.	RL: ab 34, mo 40 %. T: 12, mo 11,5°. B: klar. W: 0. Platten- unterseite: Empetr. trock., W feucht, übrige naß	0,53 0,17	0,20 0,87		0,07 0,06		0,14	0,26 0,45	0,33 0,23	b: 0,12 n: 0,25	b: 0,27 n: 0,07
X. 1./2.	RL: ab 26, mo 42 %. T: ab 14, mo 10°. B: klar. W: 0. Platten wie gestern	0,22 0,54	0,33 1,03		0,24 0,21		0,47	0,35 1,14	0,50 0,51	b: 0,18 n: 0,27	b: 0,39 n: 0,20
1943											
VIII. 10./11.	RL: ab 78, mo 73 %. T: ab 18, mo 11°. B: 0. W: 0.	1,40 2,04	2,30	1,66 1,31	2,40	1,57	1,09	2,07 1,95	2,05	b: 1,84 n: 1,90	b: 2,29 n: 1,75
13./14.	RL: ab 80, mo 50 %. T: ab 16, mo 16°. B: 0. W: zieml. stark. Platten: Ob. Sesl. S u. SW, v. u. h. Emp. bewachs. = trocken W u. h. Emp. nackt = etw. feucht	0,43 0,52	0,38	0,63 0,34	0,24	0,80	0,46	0,42 0,50	0,70	b: 0,39 n: 0,41	b: 0,42 n: 0,25
1933/43											
	Zahl der Beobachtungen	64	55	15	64	18	31	53	52	65	53
	Mittelwert aus allen Beobacht.	1,42	1,52	1,44	1,93	1,79	1,72	1,81	1,79	1,28	1,51

empfundene Pflanzengesellschaft in bezug auf den Tauniederschlag eine bedeutende Variationsbreite besitzt.

Im Empetretum liegt neben den vom Zwerggesträuch und Spaliergesträuch eingenommenen Flächen vielerorts, namentlich auf den flachen Absätzen, auch der bloße Rohhumus frei. Wir haben die Platten sowohl auf das nur einige Zentimeter hohe Spaliergesträuch gelegt (*Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*, *Arctostaphylos alpina*), als auch auf den unbewachsenen Boden. Die Lage der Platten ist in der Tabelle verzeichnet; wenn nichts bemerkt ist, so versteht sich die bewachsene Unterlage. In den Jahren 1942 und 1943 wurden jeweiligen Platten auf dem bewachsenen und dem unbewachsenen Grund nebeneinandergestellt. Es zeigte sich, daß der Tauniederschlag im allgemeinen auf dem bewachsenen Grund etwas größer war als auf dem nackten Boden, vermutlich weil die Abkühlung der lose auf das Spaliergesträuch aufgesetzten Platte größer war als bei der engeren Berührung mit dem Boden. Oft war der Unterschied aber unbedeutend, und wiederholt ergab die Platte des nackten Bodens größere Werte.

Ganz bedeutend vergrößert erscheint die Taubildung auf der Schneeoberfläche, wohl vor allem infolge der größeren Abkühlung. So betrug die Taubildung am 10./11. VI. 1937 im vorderen Festucetum, wo die Platten auf den Schnee gelegt wurden, mehr als das Doppelte der nächst niedrigeren Station. Ähnliches ergab sich auch im vorderen Nardetum in den Tagen vom 7.—9. Juni 1938. Hier wirkte allem Anschein nach nicht nur der direkte Kontakt mit dem Schnee, sondern auch die Nachbarschaft des Schnees; denn auch der Wert der im vorderen Nardetum in Schneenähe auf den Rasen gelegten Platte ist überhöht.

Der Wasserbelag auf der Außenseite der Schale ist sehr schwankend von Beobachtungstag zu Beobachtungstag und für die einzelnen Stationen. Normalerweise war die Schalenaußenseite naß, oft tropfend naß. Bisweilen waren aber einzelne Schalen mehr oder weniger trocken. Verhältnismäßig stark naß waren sie gewöhnlich im hinteren Nardetum, oft trocken im Empetretum. Auch in der Windecke waren die Platten trotz des hohen Tauanfalls außen verhältnismäßig wenig naß, vielleicht weil die Taubildung morgens schon früh aufhörte und der Windzug austrocknend wirkte.

Die Menge des in einer Nacht kondensierten Taues schwankte naturgemäß sehr. An jedem der Beobachtungstage wurde Tauniederschlag verzeichnet; aber bei bedeutender Lufttrockenheit, wie sie sich bei Föhnwetter nachtsüber ergab, blieb er gering und schwankte wiederholt um $0,1 \text{ g/dm}^2$. Unter normalen Wetterverhältnissen stieg die Luftfeuchtigkeit nach dem örtlichen Sonnenuntergang rasch an, und eine kräftige Taubildung setzte ein, die in der Regel um 2 g/dm^2 schwankte, gelegentlich auch höher stieg, bis auf 3 und ganz vereinzelt auf 4 g/dm^2 . Das sind 20 bis 40 Liter pro Are, eine sehr bedeutende Niederschlagsmenge, wenn man bedenkt, daß sie sich monatelang beinahe in jeder regenlosen Nacht wiederholt. In der Größenordnung halten sich diese Taumengen an die von Leick (1932, 1933) und Wernick (1938) auf der Ostseeinsel Hittensee gefundenen Werte.

Trotz der vielen Schwankungen im Verhalten der einzelnen Stationen treten unter ihnen ganz bestimmte Gesetzmäßigkeiten des Tauniederschlages auf, die in erster Linie aus den Mittelwerten zu ersehen sind (s. Tab. 85 am Ende und Abb. 92). Die mittleren Tauniederschläge sind zwar nicht ganz korrekt, da die verschiedenen Stationen nicht immer miteinander beobachtet wurden und eine Beobachtungsperiode in eine Zeit mit hoher oder geringer Taubildung fallen kann. Aber die bedeutende Zahl der Ablesungen gleicht solche Unterschiede für die meisten Stationen aus. Beobachtungen auf dem Schnee wurden für die Bildung der Mittelwerte nicht berücksichtigt. Die höchsten Durchschnittswerte ergibt die Windecke. Das verwundert; denn normalerweise wirkt



Abb. 92. Tauniederschläge in verschiedenen Pflanzengesellschaften. Mittelwerte aus allen Messungen. Gramm pro dm^2 und Nacht.

die Luftbewegung auf die Taubildung hemmend ein. Der gewöhnlich über Nacht auf der Windecke herrschende Luftzug ist offenbar nicht so stark, daß er die Taubildung hindert, aber immerhin stark genug, um eine bedeutende Abkühlung zu erzielen und für genügende Lüfterneuerung zu sorgen. Gelegentlich, bei schwacher Luftfeuchtigkeit, war aber die Taubildung auch auf der Windecke sehr gering, in der Nacht vom 30. IX. zum 1. X. 1942 sogar am kleinsten von allen Stationen und der kleinste überhaupt beobachtete Wert. Vorderes und hinteres Nardetum und vorderes und hinteres Festucetum, eine Gruppe von relativ flach und frei gelegenen Stationen, bleiben nur um wenig hinter der Windecke zurück. Bedeutend tiefer stehen die Stationen des Seslerietums und des Empetretums, also die Hangstationen auf der Sonnenseite und auf der Schattenseite. Alle drei Seslerietumstationen und die hintere Empetretumstation fallen nahe zusammen, während das vordere Empetretum deutlich den tiefsten Mittelwert aufzeigt. Dieses Verhalten schwankt zwar in den einzelnen Jahren etwas.

Vergleichen wir zum Schluß noch die Zahl der Minimal- und der Maximalwerte des Tauniederschlages in jeder Station miteinander, wobei wir, um für alle Stationen annähernd die gleiche Zahl von Einzelbeobachtungen zu bekommen, die beiden Stationen des oberen Seslerietums und die beiden Festucetumstationen vereinigen. Eine völlige Vergleichbarkeit der Stationen ist trotzdem nicht vorhanden, da einzelne Beobachtungspunkte wechselten und außerdem gewisse Stationen häufiger mit Doppelplatten belegt wurden als andere. Aber infolge der bedeutenden Zahl von Beobachtungstagen werden solche Fehler weitgehend ausgeglichen, so daß die Ergebnisse in der Größenordnung richtig sind (Tab. 86).

TABELLE 86

Zahl der niedrigsten und höchsten Tauniederschläge in jeder Station.

Station	Maximalwerte	Minimalwerte
Unteres Seslerietum	1	15
Oberes Seslerietum	4	6
Festucetum	4	6
Vorderes Nardetum	9	—
Hinteres Nardetum	6	2
Windecke	18	3
Vorderes Empetretum	—	8
Hinteres Empetretum	3	6

Die größte Zahl der Maximalwerte zeigt die Windecke; dann folgt mit großem Abstand das vordere Nardetum. Das untere Seslerietum hat nur einen einzigen Maximalwert (allerdings war sein Tauniederschlag verschiedentlich dem Maximalwert nahestehend), das vordere Empetretum gar keinen. Dieses Ergebnis stimmt mit den Mittelwerten der Tauniederschläge ungefähr überein; doch hebt sich das Maximum der Windecke viel stärker heraus. Unter den Minimalwerten steht das untere Seslerietum weitaus am höchsten da; dann folgen die beiden Empetreta, das obere Seslerietum und die Festuceta mit annähernd den gleichen mittleren Werten, während die Windecke nur 3, das hintere Nardetum 2, das vordere Nardetum gar keinen Minimalwert aufweisen. Die Windecke und die beiden Nardeta sind also Lokalitäten mit ausgesprochen maximalen Tauniederschlägen, das untere Seslerietum und die beiden Empetreta solche mit ausgesprochenen Minimalwerten, während die Festuceta und das obere Seslerietum eine mittlere Stellung einnehmen.

Es ergibt sich, daß die Tauniederschläge im vorderen Empetretum beinahe immer schwach sind und recht oft die tiefsten Werte erreichen. So hat diese Station den kleinsten Durchschnitt von allen Stationen, erreicht nie das Maximum, bleibt aber auch nicht allzu häufig auf dem Minimum. Im unteren Seslerietum sind die Tauniederschläge im Mittel wesentlich höher, aber ungleichmäßiger, so daß sehr häufig der niedrigste Stand unter allen Stationen erreicht wird. Ebenfalls häufig sind die Schwankungen im oberen Seslerietum und im Festucetum. Im Nardetum sind die Tauwerte im allgemeinen ziemlich hoch und starke Schwankungen nicht häufig, in der Windecke hoch, doch mit einzelnen starken Schwankungen, die nach unten bis zum Minimalwert gehen können.

VII. Überblick

über die kausalen Beziehungen zwischen den Pflanzengesellschaften des Alpengartens Schinigeplatte und ihren Umweltfaktoren

Unsere Untersuchung der Umweltverhältnisse der Pflanzengesellschaften im Alpengarten Schinigeplatte hat bei allen untersuchten ökologischen Faktoren eine unerwartet große Varia-