

Beiträge zur Klimatologie hochalpiner Lagen der Zentralalpen

Von Erich Winkler

Schon seit Jahren liefern hochgelegene meteorologische Stationen wertvolle Angaben über Witterung und Klima für die botanische, zoologische und ökologische Erforschung der alpinen Hochregion.

Das Sonnblick-Observatorium (3106 m) besteht seit 77 Jahren (2. 9. 1886), das Zugspitz-Observatorium (2962 m) seit 28. 7. 1900. Die Meßergebnisse der Patscherkofelstation (2045 m) stehen uns seit 1932, von Vent (1900 m) seit Herbst 1934 zur Verfügung. Die Meteorologische Zentralanstalt der Schweiz erhält ab Spätherbst 1923 vom Jungfraujoch (3460 m) mehrmals täglich Witterungsberichte, bzw. von dem Gipfel der nahe gelegenen Sphinx (3576 m). Schnee- und Lawinenuntersuchungen begannen am Weißfluhjoch 1936, im Jahre 1943 wurde das Eidgenössische Institut für Schnee- und Lawinenforschung (2667 m) hier erbaut, das ab 1946 meteorologische Beobachtungen lückenlos durchführte.

C. SCHRÖTER (1926), H. GAMS, H. FRIEDEL, F. STEINHAUSER, F. LAUSCHER, H. TOLLNER, H. HOINKES, die Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung (Innsbruck-Obergurgl), H. PITSCHMANN und H. REISIGL, F. FLIRI und viele andere vervollständigten in zahlreichen Untersuchungen unsere Kenntnisse über die Hochlagen-Vegetation und deren klimatische Umwelt.

Gestützt auf freundlichst gewährte Einsicht in das Material der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien und der Schweizer Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich sowie der Klimabeiträge von Th. ZINGG (1960) für das Weißfluhjoch, möchte ich im folgenden einige Klimadiagramme und eine Klimatabelle zur raschen biologischen Orientierung bieten.

I. Klimadiagramme für Patscherkofel (2045 m), Weißfluhjoch (2667 m), Sonnblick (3106 m) und Jungfraujoch (3576 m)

Nach dem Vorbild H. Walters (1955) vereinigte ich in diesen Diagrammen (Abb. 1) Monatsmitteltemperaturen und monatliche Niederschläge. Dabei entsprechen in den Skalen 10° Lufttemperatur 20 mm Niederschlag. Da für biologische Untersuchungen auch das mittlere monatliche Maximum und Minimum der Lufttemperatur sowie die absoluten Temperaturextreme wichtig sind, wurden sie im Jahresgang gleichfalls angegeben.

Die Hangstation Patscherkofel (2045 m) liegt knapp oberhalb der Waldgrenze, welche in den Zentralalpen zwischen 1900 und 2100 m liegt. Die Mittel der Luft-

temperatur durchschreiten hier im April die Null-Grad-Grenze. Im Juli und August liegt das Monatsmittel knapp unter 10° , das mittlere Maximum zwischen 12 und 14° . Die Null-Grad-Grenze wird im Oktober wieder unterschritten und die Vegetation geht zur Ruhe über. Wie ich in Wetter und Leben (1962) für die Zeit von Mai bis Ende September (1955–1961) näher ausführte, traten am Patscherkofel in 2 m Höhe 24,3 Frosttage, in 10 cm Höhe rund 44 Frosttage auf, wobei sich die Frosttage im Mai und ab Mitte September häuften. Die Vegetationszeit für krautige Pflanzen dauerte hier (in 2 m Höhe) 100 Tage an und wurde im Mittel von 3 Frosttagen unterbrochen. Bodenfrost trat in derselben Periode 12mal auf. Nur in sehr günstigen Jahren bleibt die Vegetationszeit etwa ab 10. Juni völlig frostfrei (z. B. 1958); in ungünstigen Jahren (z. B. 1961) können bis zu 7 Frosttage mit absoluten Minima um -2° bis -3° auftreten. Anfangs Oktober für jeden Fall, jedes zweite Jahr auch schon um den 20. September kommt es dann zu Frösten um -5 bis -7° .

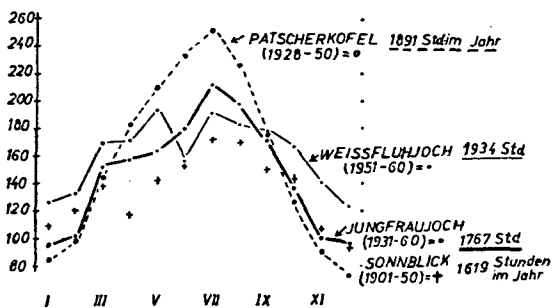
Die Schneedecke liegt am Nordhang des Patscherkofels bis 18. Mai (im Mittel) und ab 10. Oktober, also 220 Tage. Vereinzelte mehrtägige Schlechtwettereinbrüche können auch im Hochsommer Schnee bringen, der sich fleckenartig einige Tage hält und dann in der starken Strahlung abschmilzt.

Die Vegetationszeit der Coniferen beginnt an der Waldgrenze bereits Mitte April und dauert bis Ende Oktober, währt im Mittel 190 bis 210 Tage (in Tallagen um Innsbruck dagegen 280 bis 310 Tage!).

Der Temperaturgang am Weißfluhjoch (2667 m) ist entsprechend dem Höhenunterschied modifiziert; die Monatsmittel überschreiten die Null-Grad-Grenze von Juni bis September und erreichen im Juli und August 5° . Die Schneedecke liegt im Mittel (1951–1960) bis 4. 7. und ab 18. 10. rund 260 Tage und verkürzt die Vegetationszeit auf 70 bis 80 Tage. Im Juni treten noch 10, Juli und August im Mittel je 6 Frosttage auf, an denen die Lufttemperatur bis -5° absinken kann. Während im Jahresmittel in Innsbruck (582 m) 112 Frosttage auftreten, gibt es am Patscherkofel 199, am Weißfluhjoch schon 246 Frosttage, und in 3100 m Höhe (Sonnblick) 313 Frosttage pro Jahr.

Oberhalb der Wald- und Baumgrenze und der noch einige 100 Meter höher reichenden Zwergstrauchheiden entfalten sich Mähwiesen und Grasheiden. Im zentral-alpinen Raum steigen Krummseggenrasen (*Curvuletum*) in guter Entwicklung bis 2800 m und erreichen nur in günstigster Exposition inselartig gerade 3000 m. Dafür entwickelt sich z. B. von der Felsvegetation um 2700 m (Weißfluhhöhe) der Gletscherhahnenfuß (*Ranunculus glacialis*) prächtig, erreicht in Sonnblickhöhen beste Entfaltung (in den Stubai Ketten z. B. am Schrankogel von 3000–3200 m), wird an den Flanken der Wildspitze bei 3400 m bereits kümmerlicher, steigt aber im Glocknergebiet und im Gebiet des Jungfrauochs bis gegen 3500 m an. Hier fand ihn Dr. Pitschmann etwa 100 m oberhalb der Bergstation in trockenem südost-exponiertem Schutt. Am Finsteraarhorn erreicht diese Pionierpflanze bei 4275 m ihren höchsten Wuchsort.

SONNENSCHINDAUER Stunden pro Monat



JUNGFRAU-JOCH

3576 m -8,5 °C

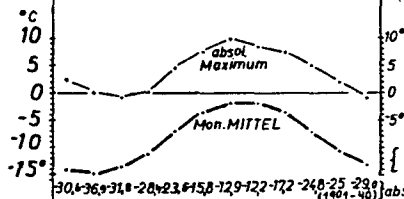
1901-1940 3040 (196-30)

HEITERE TAGE: 1936-45=72 pro Jahr

5 6 7 6 4 5 6 6 7 6 7 7

TRÜBE TAGE: 1936-45=124 pro Jahr

12 9 10 10 13 10 10 9 10 11 10 10



30 1 36 31 1 20 23 1 5 12 9 12 2 17 2 24 8 25 23 1

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII

Jm MITTEL 260 Tage

SCHNEEDECKE bis 4 VII ab IX

***** Vegetzeit *****

~70-80 Tage

WEISS-FLUH-Joch

2667m

1951-60

-2,5 °C

1224 mm

GESAMT-NIEDERSCHLAG nach OMBROMETER

180 mm

150 mm

120 mm

100 mm

80 mm

60 mm

40 mm

20 mm

0 mm

absolutes MAXIMUM 1932 1960

mittleres Maximum

MONATSMITTEL der (2m) Lufttemp.

mittl. Minimum

absolutes MINIMUM (1941-60)

FROSTTAGE

31 28 31 28 23 29 20 10 6 5 5 6 8 19 28 31

22 28 23 20 15 1 9 4 5 3 5 5 12 6 14 49 21

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII

Jm MITTEL 260 Tage

SCHNEEDECKE bis 4 VII ab IX

***** Vegetzeit *****

~70-80 Tage

SONNBLICK

3106 m

1901-1950

-6,2 °C

2580 mm

Niederschlag Totalisator

240 mm

220 mm

200 mm

180 mm

160 mm

140 mm

120 mm

100 mm

80 mm

60 mm

40 mm

20 mm

0 mm

absolutes Maximum

mittl. Maximum

MONATSMITTEL der (2m) Lufttemp.

mittl. Minimum

absolutes MINIMUM (1901-50)

FROSTTAGE

22 15 16 21

313 Frost-tage

312 36 30 26 20 12 6 10 5 10 5 10 5 20 3 24 5 33

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII

Jm MITTEL 220 Tage

SCHNEEDECKE bis 4 VII ab IX

***** Vegetzeit *****

~100 TAGE

PATSCHERKOFEL

1951-60

1,3 °C

951 mm

GESAMT-NIEDERSCHLAG nach OMBROMETER

180 mm

150 mm

120 mm

100 mm

80 mm

60 mm

40 mm

20 mm

0 mm

absolutes Maximum

mittleres Maximum

MONATSMITTEL der (2m) Lufttemp.

mittl. Minimum

absolutes MINIMUM (1941-60)

FROSTTAGE

31 27 28 23 14 36 09 05 14 23 29

23 28 21 5 16 17 6 6 27 20 75 12 16 21

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII

Jm MITTEL 220 Tage

SCHNEEDECKE bis 4 VII ab IX

***** Vegetzeit *****

Abb. 1: Klimadiagramme für hochalpine Stationen

Auch noch im Mai sind Alpengipfel in Sonnblickhöhen sehr unwirtlich; erst im Juni erreicht das Monatsmittel der Lufttemperatur am Sonnblick $-0,9^{\circ}$, im Juli und August im langjährigen Durchschnitt $1,2^{\circ}$ (vereinzelt 2 bis 3°) und fällt im September auf $-1,1^{\circ}$. Die mittleren Minima liegen von Juni bis September zwischen -3 und -1° , die absoluten Minima zwischen -5 und -15° .

15 bis 20 Frosttage (und mehr) gestatten hier in den „Hochsommermonaten“ nur mehr kältefester Vegetation das Leben, vorwiegend Polsterpflanzen, Moosen, Flechten und Algen. Hier wirken sich Geländeunterschiede, verschiedene Exposition, geringere Schneebedeckung und windgeschützte Nischen besonders stark aus, so daß hier über Nichtleben — Leben — Besserleben — das spezielle Mikroklima des jeweiligen Standortes entscheidet. Dementsprechend dürfte die Vegetationszeit zwischen 40 und 60 Tagen liegen.

Am Jungfraujoch (3576 m) bleiben auch im Juli und August die Monatsmittel der Lufttemperatur knapp unter Null, nur an einzelnen Tagen steigt das Tagesmittel knapp darüber (siehe auch Abb. 1).

Im Zentralalpenraum fallen die Niederschläge mit deutlichem Sommermaximum, im Sommerhalbjahr etwa zu 60%, im Winterhalbjahr zu 40% und bieten der Hochlagenvegetation zusammen mit der Schneeschmelze meist¹ ausreichend Wasser. Steinhauser, Hoinkes, Lauscher, Tollner und Grunow haben in den vergangenen Jahren mit mehreren Arbeiten nachgewiesen, daß Niederschlagsangaben mit Ombrometerbeobachtung in windexponierten (Gipfel-) Lagen unsicher und viel zu niedrig sind. Die Totalisatoren kommen den „wahren Verhältnissen“ ziemlich nahe. Ich habe daher vor allem die Totalisatorwerte in das Klimagramm des Sonnblicks eingezeichnet und die Ombrometerwerte nur strichliert angeführt. Der Patscherkofel besitzt nur ein Ombrometer, die Werte im Winterhalbjahr dürften daher zu gering sein. Neuerdings veröffentlichten F. Lauscher (1961) und M. Roller (1961) die Ergebnisse der Totalisatorenbeobachtungen (Periode meist 1951—1958). Daraus seien folgende Werte zur Übersicht zitiert:

Tabelle 1

Gepatschhaus	1920 m	1239 mm	Pertisau	930 m	1705 mm
Hochjochhospiz	2360 m	887 mm	Plumsjoch	1300 m	2199 mm
Hinterseisferner	2970 m	1306 mm	Bärenbad	1450 m	1898 mm
Hinterseisferner um	3300 m	um 2000 mm	Erfurter Hütte	1830 m	1770 mm
Hinterseisferner 3500—3739 m	um 2500 mm		Mooserboden	1980 m	1927 mm
(nach H. Hoinkes u. H. Lang 1962)			Hoher Sonnblick	3076 m	2563 mm
Glocknerhaus	2140 m	958 mm	Jungfraujoch	3480 m	3040 mm
			(1916—1930)		
Adlersruhe	3450 m	1345 mm	Mönchsgrat	3810 m	3760 mm
(nach H. Tollner 1952)			(1916—1930, J. Maurer 1931)		

¹ H. Gams wies mehrfach auf die hohe hygrische Kontinentalität des oberen Ötztals hin (Rofenhöfe 70° , Längsfeld 58°).

Monatsmitteltemperatur:
JUNGFRAU-Joch 3576 m
Weissfluh-Joch 2667 m
 1951-1960

	(nach TOLLNER 1952)												JAHR
	JUN	JUL	AUG	SEPT	OKT	NOV	DEZ						
Mitteltemperaturen im GLOCKNERGEBIET 1931-1950													
SONNENSTRAHLUNG 3500 m	-14,2	-14,8	-13,6	-11,2	-6,8								
mittl. tagl.	-9,6	-10,0	-7,2	-5,4	-0,9								
148-161 g cal/cm² Min. 3000 m	-12,4	-12,3	-10,5	-7,4	-2,2								
2500 m	-9,3	-9,0	-9,0	-3,7	1,2								
143-156 " 2000 m	-6,3	-6,1	-3,5	0,0	4,6								
1500 m	-4,7	-3,8	-0,6	3,2	7,7								
129-143 " 1000 m	-4,2	-2,0	1,7	5,8	10,7								
(auf eine Fläche senk- recht zur Einstrahlung) 750 m	-5,8	-3,9	1,6	7,1	12,2								
ADLERSRUHE (MITTELSTATION) 3456 m	-0,6	1,2	1,2	6,7									
absol. Maximum	-3,9	-3,0	-3,6	-2,9	-2,3								
absol. Minimum	6,1	6,7	3,4	7,6	9,4								
SONNENBLICK 3106 m													
absolutes Maximum	-10,6	-10,7	-9,1	-6,2	-1,8								
mittl. tagl.	-12,9	-13,0	-11,4	-8,5	-3,8								
MONATSMITTELTEMPERAT.													
absolutes	-15,3	-15,4	-13,7	-10,8	-6,0								
3106 m	-3,2	-3,6	-3,0	-2,6	-2,0								
FROSTTAGE													
Eisstage	31	28	31	30	28,9								
SONNENSCHENDAUER in STUNDEN	31	28	30,9	29,4	24,4								
HEITERE TAGE	109	120	138	119	143								
TRÜBE	62	56	45	43	15								
NIEDERSCHLÄGE (mm; TOTALISATOR)	19,8	19,7	21,2	23,5	21,6								
PATSCHERKOFEL-2045 m													
absolutes Maximum	8,1	12,5	13,0	15,4	19,8								
mittl. tagl.	-4,3	-3,0	-0,5	3,5	7,8								
MONATSMITTEL °C													
absol.	-6,6	-6,0	-3,3	0,6	4,4								
mittl. tagl.	-6,1	-6,3	-3,4	-1,1	3,5								
absol.	-9,2	-8,3	-5,3	-2,2	1,7								
FROSTTAGE (EISTAGE)	23	28	21,5	14,4	11,7								
SONNENSCHENDAUER (tatsächl. Std)	30,4	26,5	20,3	13,6	12,3								
BEWÖLKUNG (in Zentel d. Himmels)	84	98	124	183	210								
HEITERE TAGE	53	58	59	64	65								
TRÜBE	46	44	44	3,2	6,4								
TAGE mit Niederschlag	82	91	97	117	110								
NIEDERSCHLÄGE mm	141	13,6	13,7	14,5	16,4								
JNNSBRUCK MITTEL MAXIMUM °C	50	60	45	65	73								
MONATSMITTEL-Tp	9,8	11,5	17,0	21,3	19,4								
MITTL. MINIMUM	-3,5	-0,2	5,5	10,2	14,5								
	-2,7	-0,1	3,7	7,5	11,2								

Tabelle 2: Klimatabellen für hochalpine Stationen

Über Verteilung und Abhängigkeit der Niederschläge von einzelnen Wetterlagen berichtete F. Fliri (1962) in seiner schönen und umfassenden Wetterlagenkunde von Tirol in sehr ausführlicher Darstellung. Die biologisch wichtigsten meteorologischen Elemente werden für Patscherkofel und Sonnblick in Tabelle 2 zusammengefaßt und durch langjährige Temperaturreihen für Weißfluhjoch, Jungfraujoch und Innsbruck ergänzt.

II. Temperaturverlauf und Niederschläge in der Vegetationszeit 1962

Neben langjährigen Mittelwerten sind auch Einzelwerte von charakteristischen Jahren zur Orientierung über die tatsächlichen Verhältnisse interessant. Ich habe deshalb aus den Tageswetterbögen der Schweizer Meteorologischen Zentralanstalt und der Wiener Meteorologischen Zentralanstalt sowie aus den Monatsbögen des Patscherkofelbeobachters H. Ferrari den Temperaturgang vom 1. Juli bis 30. September 1962 tageweise mit Maxima und Minima in Abb. 2 gezeichnet. Aus den Schweizer Meldungen standen mir zwar nur die Lufttemperatur um 7½ Uhr bzw. 13½ Uhr zur Verfügung, die dem Tagesminimum bzw. Maximum meist ziemlich nahekommen. Unterlegt man dem Gang der Temperaturextreme am Patscherkofel auch die tägliche Sonnenscheindauer (Blockpunktdiagramm) und die Niederschläge (starke, strichlierte Linien), so tritt die wirksame Aussteuerung der Lufttemperatur deutlich in Erscheinung. Niederschläge fallen am Sonnblick auch im Sommer zu 60 bis 80% als Schnee, der Rest in Form von Regenschnee oder Regen (etwa 15%) und führen zur raschen Abkühlung. Alle durch die Großwetterlage gegebenen Niederschlagsperioden zeichnen sich nicht nur am Patscherkofel und Sonnblick, sondern auch am Weißfluhjoch und am Jungfraujoch im Temperaturgang sehr deutlich korreliert ab. Nach einem nur mäßig warmen Juni tritt vom 7. bis 12. Juli allgemein Erwärmung ein. Niederschläge zwischen 14. und 18. Juli bringen am Sonnblick — mit Neuschnee — sofort Minima um -4° , am Jungfraujoch aber fortlaufend Eistage mit Minima zwischen -4° und -10° . Während es am Patscherkofel (2045 m) ab 8. Juli ausnahmsweise bis 16. September keinen Frosttag gibt, treten am Weißfluhjoch in dieser Zeit — *nur* — 4 Frosttage auf. Ab 16. September klingt die Vegetationszeit am Patscherkofel langsam, am Weißfluhjoch (2667 m) sehr rasch aus. In dieser Periode kam es

in Sonnblickhöhen (3106 m) zu 30 Frosttagen,
am Jungfraujoch (3576 m) zu 45 Frosttagen.

Trennt man Schwachfröste von Starkfrösten (etwa unter -4°), so gab es am Sonnblick vom 1. Juli bis 30. September (= 92 Tage)

44 frostfreie Tage

48 Frosttage, von denen etwa 20 Vegetation noch gestatteten,
und 28 sie sehr hinderten.

etwa 64 Tage Vegetationszeit!

Am Jungfrauoch gab es in der gleichen Periode

22 Tage mit Nachfrösten unter -4° (vorwiegend sogar Eistage)

30 Tage mit Nachfrösten bis -4° .

Nur etwa 40 Tage waren der Vegetationsentwicklung günstiger!

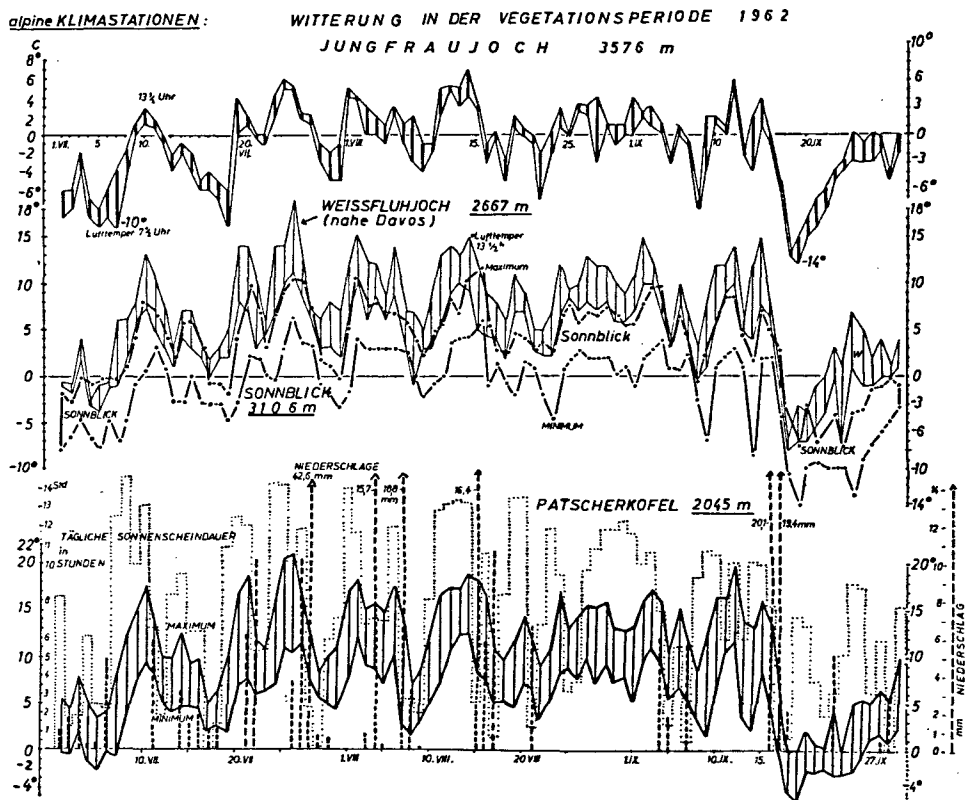


Abb. 2: Witterung an alpinen Stationen im Jahre 1962

Diesen Übersichtszahlen sollten nun unbedingt Einzeluntersuchungen folgen, die den lokalen Verhältnissen an mehreren Wuchsorten meßtechnisch nachspüren sollten. Ich bin mir über die meßtechnischen und bergsteigerischen Schwierigkeiten längerer Untersuchungen sehr im klaren. Ein bergerfahrener Dissertant des Botanischen Institutes wird im Sommer 1963 an mehreren Tagen am Schrankogel (3000 bis 3200 m) mikroklimatologische Anschlußmessungen an charakteristischen Standorten des *Ranunculus glacialis* bei *Schönwetter*, *Wechselwetter* und *Schlechtwetter* durchführen, die man mit den Tagesmeldungen vom Sonnblick korrelieren könnte.

III. Beeinflussung der Blatt- und Nadeltemperaturen durch Strahlung und Windverhältnisse

Neben anderen Faktoren steuert vor allem die Gesamtstrahlung als „Lebensmotor“ Wachstum und Intensität des pflanzlichen Stoffwechsels. Nach D. Müller werden für die Photosynthese nur 1 bis 2% der aufgenommenen Strahlungsenergie direkt verwendet; die übrige Strahlung dient der Erwärmung von Boden, Luft und Pflanzen. Die Temperatur der pflanzlichen Organe wirkt aber über die beachtliche Temperaturabhängigkeit der Photosynthese, Atmung und Verdunstung, von Art zu Art verschieden stark, auf die Stoffproduktion zurück. Neben der mit Luxmetern leicht meßbaren Beleuchtungsstärke sollte bei Assimilationsuntersuchungen möglichst auch die kurzwellige Strahlungsbilanz gemessen werden. Globalstrahlungsmessungen allein berücksichtigen die individuell verschiedene Reflexion der Blätter usw. nicht, die um 20% und mehr betragen kann, können als aber Orientierung über das Energieangebot für die Photosynthese verwendet werden.

Die Tabelle 3 soll uns über die Globalstrahlung in verschiedenen Höhenlagen bei mittleren Bewölkungsverhältnissen orientieren. Fettgedruckte Zahlen entstammen der Klimatographie von Österreich (1958, F. Sauberer und I. Dirmhirn), den ökologischen Untersuchungen in der subalpinen Stufe bei Obergurgl, und aus dem Meteorologischen Institut der Universität Innsbruck.

Um die leider nur aus sich überschneidenden Perioden stammenden Werte anschaulicher zu gestalten, habe ich sie in Prozentsen der Globalstrahlungstagesummen von Wien ausgedrückt und damit „*annähernd vergleichbar*“ gemacht. Nur die Werte von Innsbruck und Weißfluhjoch gelten für die gleiche Periode 1951–1961 und sind somit streng vergleichbar. Die Übersicht ergibt aber trotzdem die gewaltige Besserstellung der Hochlagen in den Wintermonaten, welche mehr als doppelt so viel Strahlung wie Wien (203 m) empfangen. Vom Juni bis September sind es am lagemäßig sehr begünstigten Weißfluhjoch fast 130% (nur August 115%) der Strahlung von Wien, am Sonnblick infolge häufiger Nebel- und Wolkenkappen 113% (Juli, August) bis 128% (Juni, September). Die Strahlungswerte an der Basisstation der Wildbachverbauung nahe Obergurgl (2070 m) liegen in der Mitte. Vom Patscherkofel bestehen erst drei ausgewertete Jahresmeßreihen, welche ein strahlungsarmes und ein strahlungsreiches Jahr repräsentieren.

Tabelle 3

Globalstrahlungstagesummen (cal/cm².d) bei mittleren Bewölkungsverhältnissen

	Wien 202 m	Innsbruck 582 m		Patscherkofel 1930 m		Obergurgl 2070 m	Weißfluh- joch 2667 m	Sonnblick 3106 m
	1938—56	1951—60	1960	1961	1962	1928—50	1951—60	1937—46
Jänner	65	99	—	152	131	122	183	(173) 152
	100%	152%		234%	202%	188%	282%	266% 234%
Februar	134	174	212	223	190	226	289	(300) 245
	100%	130%	158%	166%	142%	169%	216%	224% 183%
März	223	292	331	365	323	372	443	(432) 364
	100%	130%	148%	164%	145%	167%	199%	194% 163%
April	333	382	412	387	413	489	600	(537) 483
	100%	115%	124%	117%	124%	147%	180%	161% 145%
Mai	417	466	480	448	438	535	672	(611) 554
	100%	112%	115%	108%	105%	128%	161%	147% 133%
Juni	460	472	538	519	498	548	605	(623) 582
	100%	103%	117%	113%	109%	119%	132%	135% 127%
Juli	457	456	466	535	479	520	567	(627) 540
	100%	100%	102%	117%	105%	114%	124%	137% 118%
August	395	408	419	469	477	439	454	(509) 444
	100%	103%	106%	119%	121%	111%	115%	129% 113%
September	293	329	313	402	377	327	386	(421) 375
	100%	112%	107%	137%	129%	112%	132%	144% 128%
Oktober	163	213	214	287	280	211	294	(324) 275
	100%	131%	132%	176%	172%	129%	180%	199% 169%
November	69	118	147	172	155	130	198	(192) 172
	100%	171%	213%	249%	225%	188%	287%	278% 249%
Dezember	49	80	118	130	115	99	148	(146) 127
	100%	164%	241%	265%	235%	202%	302%	298% 260%

Für Sonnblick werden die mittleren Strahlungsverhältnisse durch die letzte Zahlenkolonne wiedergegeben; die eingeklammerten Zahlenwerte (vorletzte Kolonne) sind aus den maximalen Monatssummen abgeleitet, nicht wie sonst aus den *durchschnittlichen* Monatssummen¹.

Boden-, Blatt- und Nadeltemperaturen sind von Lufttemperatur, Strahlung und Wind abhängig. An trüben windstillen Tagen werden die Assimilationsorgane etwa Lufttemperatur aufweisen, in der Nacht können Coniferennadeln infolge Transpiration etwas kälter als Luft sein. Sie erwärmen sich mit zunehmender Einstrahlung je nach den Windverhältnissen etwas oder stark über die Lufttemperatur, wobei bei Windstille an der Waldgrenze Coniferennadeln 4 bis 10° über die Luft temperiert sein können (Tranquillini 1957, 1959, und eigene Beobachtungen).

Bekanntlich erwärmt sich auch der Boden in der Vegetationsperiode in Waldgrenzenlage besonders an heiteren Tagen kräftig; in Rohhumusböden wurden an der Basisstation Obergurgl 60°, in obersten Schichten kurzfristig auch über 70° gemessen.

In hochgelegenen Rohhumusböden von Kartoffelparzellen wurden am Patscherkofel-Hochmahdalm (1880 m) in 2 cm Tiefe vom Juni bis August im Monatsmittel

¹ Klimatographie von Österreich, 1. Lieferung S. 60, 61, 1958.

3° bis 8°, in 10 cm Tiefe 2° bis 4° Überwärmung über die Lufttemperatur festgestellt (Winkler 1962), bei Grasböden ergaben sich ähnlich hohe Werte. Der warme Boden fördert Wachstum und Assimilation der Pflanzen und dämpft kurzzeitige Kälteeinbrüche. Die in den Parzellen installierten und von den Kartoffelstauden allseitig umwachsenen Thermographen zeigten an, daß die Bestandstemperatur in 10 cm Höhe über dem Boden

im Monatsmittel im Juni 1961	um 0,7°
Juli 1961	um 1,6°
August 1961	um 1,7°
September 1961	um 0,7°

höher war als die Lufttemperatur (in 2 m Höhe). Ähnliche Messungen liegen von mir aus dem Venter Raum — Rofenhöfe, 2014 m — und aus den Zwergstrauchheiden um Obergurgl (Aulitzky 1961) vor.

Auch über der Waldgrenze und bis zur Schneegrenze wurden an heiteren — und wahrscheinlich windruhigen Tagen — trotz geringer Lufttemperatur beachtliche große Boden- und Organtemperaturen von verschiedenen Beobachtern gemessen.

Ich selbst stellte anläßlich meiner vorjährigen Reise ins Matterhorngebiet am Riffelberg am 14. September 1962, einem heiteren, fast windstillen Tag, im Krummseggenrasen mikroklimatologische Messungen an. Dabei maß ich gegen 14 Uhr in 2800 m Höhe:

Lufttemperatur.....	13° (1,5 m über dem Boden)
Fels-Sonnenseite (Flechtenbewuchs)...	26°
Felsrückseite	14°
in einem großen <i>Silene acaulis</i> -Polster .	27°
10 bis 15 cm über dem <i>Curvuletum</i>	23° bis 25°
in <i>Carex curvula</i> Horsten	28° bis 35°
im dunklen Rohboden in 1 cm Tiefe ...	36° bis 40°

während im Zirbenwald, 2060 m, bei der Riffelalm um 12 Uhr folgende Meßwerte beobachtet wurden:

Lufttemperatur	15,5°
Nadeltemperaturen	20° bis 22°
in 1 cm Tiefe in lockerem Steingrus ...	31° bis 32°
in 15 cm tiefen Felsspalten.....	12° bis 13°
in nassen 20 bis 30 cm tiefen Spalten...	7,5° bis 9°

Einige Tage vorher hatte ich auch vor der Überquerung des Mont Blanc an der 3842 m hohen Aiguille du Midi zwischen den von einer Brücke überspannten Felstürmen bei mittlerem Wind (B_4) als Lufttemperatur Null Grad gemessen und knapp 20 m davon entfernt in einer südost exponierten, windgeschützten, großen Felsnische einen Standort mit günstigem Mikroklima gefunden.

Die Lufttemperatur betrug hier um 14.15 Uhr	20°
unter <i>Lecidea</i> -Flechten und kleinen schwärzlichen	
Moosen	10°
auf der Felsoberkante	16,3° bis 17°
in Spalten mit feuchtem Feinschutt	14°
in Spalten mit trockenem Feinschutt	19° bis 20°

Der Boden zeigte also 17° bis 18°, die Flechten 8° Überwärmung über die Lufttemperatur (Beleuchtungsstärke über 100.000 Lux). Ganz ähnliche Verhältnisse hatte ich auch am 10. September an der Basis der Sphinx (Jungfrauojoch, 3500 m) bei den hier gedeihenden Flechten und an den Felsspalten gefunden.

Wie Aulitzky und Mitarbeiter in ausgedehnten Untersuchungen im Obergurgler Gebiet darlegten, wird oberhalb der Wald- und Baumgrenze neben Relief und Strahlung vor allem der Wind vegetationsbestimmend. Bekanntlich steigt die Windgeschwindigkeit vom Tal bis zur Waldgrenze langsamer, darüber aber kräftig an. Für die Periode 1951 bis 1960 habe ich folgende Mittelwerte der Windgeschwindigkeit aus den einzelnen Unterlagen zusammengestellt:

	I	V	VII	VIII	XII	Jahresmittel
Patscherkofel (2045 m)	4,5	4,0	3,4	3,5	4,4	4,1 m pro Sekunde
Weißfluhjoch (2667 m)	5,2	4,2	3,9	3,7	5,0	4,2 m pro Sekunde
Sonnblick (3106 m)	7,5	5,5	5,2	5,5	7,0	6,2 m pro Sekunde (5,4 Jahresmittel 1901—50)

Die Zahl der Sturmtage (Windgeschwindigkeit gleich oder größer als B_6 ... 10 m/sec ... 36 km/h) nimmt gleichfalls, besonders im Winter stark zu. Während in Innsbruck pro Jahr im Mittel 52 Sturmtage registriert wurden, zählte man am Patscherkofel 85 Sturmtage, am Weißfluhjoch 55 (B_6 bis B_{12}) und am Sonnblick 104 Sturmtage. Hier gibt es in den

Sommermonaten 1901—1950	5,2	4,9	5,5	6,1	7,2
1951—1960	7,0	7,1	6,8	8,6	8,5 Sturmtage
	V	VI	VII	VIII	IX

Um allen vagen Erörterungen aus dem Wege zu gehen, überprüfte ich Temperatureinflussung durch den Wind im Laboratorium experimentell. Rasenziegel, Fichten- und Latschentriebe, eine weichblättrige Pelargonie und 1 bis 1,5 cm große Blätter vom Gletscherhahnenfuß wurden bei 10° und 20° Lufttemperatur mit einer 2000 Watt Lampe bestrahlt, wobei KG 1 Filter zu große Erwärmung dämpften. Die Strahlung betrug hierbei 0,2 cal/cm² und Minute, die Beleuchtungsstärke 16.000 Lux. In einem weiteren Versuch wurden die KG 1 Filter entfernt, die Strahlung stieg dadurch auf 0,7 cal/cm² und Minute und die Beleuchtungsstärke auf 50.000 Lux. Hierbei wurden

mit Glas-Platin-Widerstandsthermometern an Fichten- und Latschennadeln Über-
temperaturen von 11 bis 13 Grad, bei Ranunculus glacialisblättern bis 6 Grad Über-
temperatur gemessen und am H & B-Sechsfarbenpunktschreiber alle 20 Sekunden regi-
striert. Die Lufttemperatur stellte ich strahlungssicher mit einem Meßkorb fest, in dem
ein 17 cm langer haarfeiner Platindraht ($20\mu\varnothing$) zickzackförmig ausgespannt war. An-
schließend wurde mittels Ventilator Schwachwind von 0,3 bis 0,5 und 1 — m/sec
Geschwindigkeit erzeugt und die Pflanzen abschließend auch mit mittlerem Wind

ÜBERWÄRMUNG BEI WINDSTILLE UND WIND.

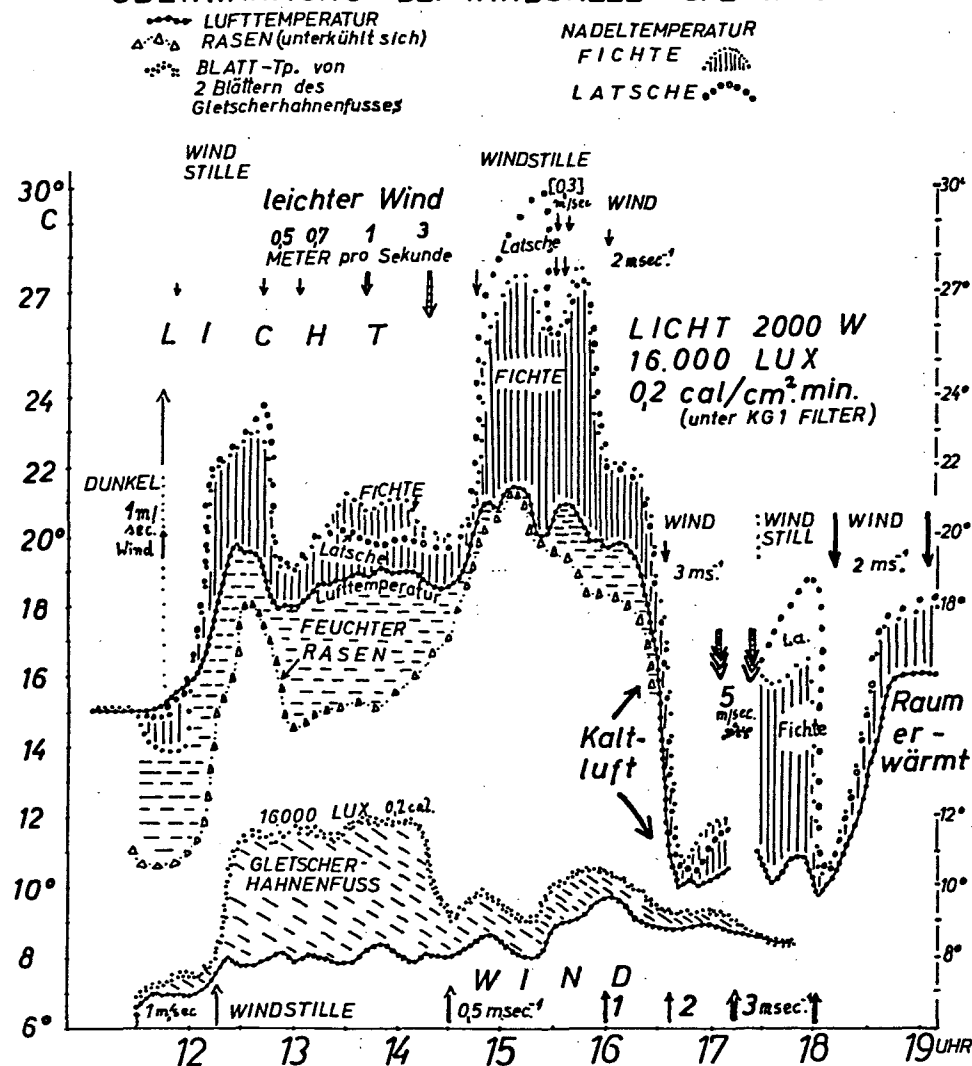


Abb. 3: Windabhängige Überwärmung von Fichten- und Latschenzweigen, Blättern von Gletscherhahnenfuß und feuchten Rasenstücken bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten.

(3 bis max. 5 m/sec) ventiliert. Aus den Registrierungen der ersten Serie (0,2 cal/cm² Min.) ergaben sich die in Abb. 3 dargestellten Resultate.

Die Nadel- und Blatt-Temperaturen stiegen bei Windstille rasch an, die Organe erwärmten sich 5 bis 7 Grad über die Lufttemperatur. Schwacher Luftzug mit 0,3 m/sec senkte die Überwärmung auf 70 bis 80%, 0,5 m/sec Luftzug auf 16 bis 30%. Bei einem Schwachwind mit 1 m/sec betrug die Überwärmung nur mehr 15% der maximal gemessenen, bei einem Wind von 3 m/sec sank sie auf fünf bis zehn Prozent ab, und betrug absolut nur mehr 0,5 bis 0,7°, bei *Ranunculus glacialis* knapp 0,2 bis 0,1°. Bei Wind mit 5 m/sec (= 18 km/h = B₃) war keinerlei Überwärmung feststellbar, auch nicht bei einer Einstrahlung von 0,7 cal/cm² Min. (Einzelwerte lagen $\pm$ 0,1° um Lufttemperatur). Bei meiner 50.000-Lux-Serie sank die Überwärmung bei

Belüftung mit 0,8 m/sec Wind bei Fichten	auf 25%	(= 3° bis 3,5°)
Latschen	des Maximal-	
Gletscher-	wertes	(= 1,5°)
hahnenfuß		
„ „ 1 m/sec Wind „	auf 15%	
„ „ 3 m/sec Wind bei Fichten	auf 7%	(= 0,8°)
Latschen		
Gletscher-	auf 3%	(= 0,2—0,3°)
hahnenfuß		

Erinnern wir uns, daß die mittlere Windgeschwindigkeit am Sonnblick (1951—1960) 6,2 m/sec betrug, so mögen wir uns vorstellen, wie wenig von der Überwärmung im vollen Windfeld übrigbleibt. Nur wenn Pflanzen in Nischen sehr geschützt und dennoch voll besonnt stehen und die Windgeschwindigkeit in Bodennähe auf mindestens ein Drittel der freien Windgeschwindigkeit absinkt, kann eine wirklich förderliche Überwärmung bleiben.

Solche windgeschützte Standorte kommen in den Ötztaler Alpen wirklich, wenn auch relativ selten in Hochlagen zwischen 3000 und 3300 m vor. Kollege Pitschmann fand bei etwa hundert Gipfelbegehungen in den vergangenen 10 Jahren deren vier!

Spiegelkogel 3300 m, südostexponiert, 4—5 m² Curvuletumfragment
 Festkogel 3000 m, südostexponiert Curvuletumfragment
 Liebenerspitze, 3000 m, südexponiert, kleinere geschlossene Curvuletenflecke,
 Felsrippe über Rotmoosferner, 2900 m, 100 m² geschlossene Curvuleten und
 Elyneten.

Am Sonnblick fielen in den Jahren 1901 bis 1950 von Mai bis September im Mittel an 20 bis 16 Tagen pro Monat Niederschläge und meist mit ihnen gekoppelt, traten 16 bis 12 Trübtage pro Monat auf, während nur 2 bis 4 Tage im Mittel heiter blieben (= Bewölkung unter 20% der Himmelsfläche). Ganz ähnliche Verhältnisse (10

bis 16 Trübtage, 1 bis 5 heitere Tage) herrschten am Weißfluhjoch in den Sommermonaten der Periode 1951 bis 1960.

Für die Hochlagenvegetation oberhalb 2700 m bedeutet dies nun, daß an rund 15 Trübtagen pro Vegetationsmonat kaum wesentlich höhere Temperaturen als Lufttemperatur wahrscheinlich sind und bei Wechselwetter oder den spärlichen heiteren Tagen nur jene Pflanzen von der sicher sehr kräftigen Hochgebirgsstrahlung stärkere Überwärmung erwarten dürfen, die in Mulden oder Nischen gegen die volle Windwirkung geschützt stehen. Erst wenn infolge Wetterlage oder günstigem Standort die Windgeschwindigkeit auf etwa ein Drittel der durchschnittlichen fällt und nur bei etwa 1 bis 2 m pro Sekunde liegt, können die wackeren Pioniere zusätzliche, biologisch merklich fördernde Überwärmung genießen.

Literaturverzeichnis

Von den zahlreichen Arbeiten können hier infolge Platzmangel leider nur einige zitiert werden:

- AULITZKY, H. (1961): Die Bodentemperaturverhältnisse an einer zentralalpinen Hanglage beiderseits der Waldgrenze, I. Teil. Arch. Met. Geoph. B. 10.
 — (1962): Teil II und III, ebd. 11.
 — (1961): Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, in: „Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe“, Mitt. Forstl. Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn, Heft 59.
 EKHART, E. (1939): Die klimatischen Verhältnisse des Venter Tales, in: „Das Venter Tal“, Bruckmann-München.
 FRIEDEL, H. (1956): Die alpine Vegetation des obersten Mölltales (Hohe Tauern). Erläuterung zur Vegetationskarte der Umgebung der Pasterze (Großglockner). Wagner-Innsbruck.
 GAMS, H. (1931/1932): Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. Ztschr. Ges. f. Erdkunde zu Berlin.
 — (1935): Das Pflanzenleben des Großglocknergebietes. Ztschr. d. D. u. OeAV., Bd. 66.
 — (1936): Die Vegetation des Großglocknergebietes. Abh. Zool. Bot. Ges. Wien, Bd. XVI, Heft 2.
 — (1940—1942): Pflanzengesellschaften der Alpen I—III. Jb. d. Ver. z. Schutz d. Alpenpflanzen u. -tiere. München.
 GRUNOW, J., GREBE H., HEIGEL K. (1957): Das Observatorium Hohenpeißenberg, 1781—1955. Ber. Dt. W. D., 5, Nr. 36.
 FLIRI, F. (1962): Wetterlagenkunde von Tirol. Wagner-Tirol.
 HOINKES, H. (1954): Neue Niederschlagszahlen aus den zentralen Ötztaler Alpen. 49. bis 50. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1951 bis 1952.
 — (1957): Über die Schneeumlagerung durch den Wind. 51. bis 53. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1953 bis 1955.
 — und LANG, H. (1961): Über Niederschlag und Abfluß im Gebiet des Hintereisferners, 1957/58 und 1958/59. Wetter und Leben, Sd.-Heft IX (Sonnblick-Jub.) sowie (1962): Winterschneedecke und Gebietsniederschlag 1957/58 und 1958/59 im Bereich des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen). Arch. f. Meteor. Bd. 11.
 HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO, Wien (1951): Die Lufttemperatur in Österreich.
 — (1952): Die Niederschlagsverhältnisse in Österreich.
 LAUSCHER, F. (1960): Lufttemperatur in: „Klimatographie von Österreich“. Österr. Acad. Wiss. Denkschr. d. Gesamtakademie, 3.
 — (1961): Die Totalisatorennetze Österreichs. 54. bis 57. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1956 bis 1959.

- MAURER, J. und LÜTSCHG, O. (1931): Hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch. Internationale Stiftung, Bern.
- REISIGL, H. und PITSCHMANN, H. (1958): Obere Grenzen von Flora und Vegetation in der Nivalstufe der zentralen Öztaler Alpen (Tirol). Vegetatio ACTA GEOBOTANICA, Vol. VIII.
- REITER, E. (1958): Klima von Innsbruck 1931 bis 1955 (Anhang 1956 und 1957). Statistisches Amt der Landeshauptstadt Innsbruck.
- ROLLER, M. (1961): Totalisatorenbeobachtungen im Sonnblickgebiet im Zeitraum 1927 bis 1959. 54. bis 57. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1956 bis 1959.
- SAUBERER, F. und DIRMHIRN, J. (1958): Das Strahlungsklima, in: „Klimatologie von Österreich“. Österr. Akad. Wiss. Denkschr. d. Gesamtakademie, 3.
- SCHRÖTER, C. (1926): Das Pflanzenleben der Alpen. Raustein-Zürich.
- STEINHAUSER, F. (1958): Sonnenschein. In: „Klimatographie von Österreich“. Österr. Akad. Wiss. Denkschr. d. Gesamtakademie, 3.
- (1954): Klimatablelle für den Sonnblick (3106 m) 1901—1950. 49. bis 50. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1951 bis 1952.
- TOLLNER, H. (1952): Wetter und Klima im Gebiet des Großglockners. Naturwiss. Verein f. Kärnten, Klagenfurt.
- TRANQUILLINI, W. (1957): Standortklima, Wasserbilanz und CO₂-Gaswechsel junger Zirben an der alpinen Waldgrenze. Planta (Berlin), 49.
- (1959): Die Stoffproduktion der Zirbe (*Pinus Cembra* L.) an der Waldgrenze während eines Jahres. I. und II., Planta, 54.
- TURNER, H. (1958): Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. Wetter und Leben 10.
- (1958): Über das Licht- und Strahlungsklima einer Hanglage der Öztaler Alpen bei Obergurgl und seine Auswirkung auf das Mikroklima und auf die Vegetation. Arch. f. Met. u. Geophys. Ser. B., 8.
- WINKLER, E. (1957): Klimaelemente für Innsbruck (582 m) und Patscherkofel (1909 m) im Zusammenhang mit der Assimilation der Fichten in verschiedenen Höhenlagen. Veröff. Museum Ferdinandeum, Innsbruck.
- (1959): Vegetation und Stoffproduktion an der Waldgrenze am Patscherkofel und ihre Abhängigkeit von Niederschlag und Temperatur. Jb. d. Ver. z. Schutze d. Alpenpflanzen und -tiere, 24. München.
- (1962): Assimilationsvermögen, Atmung und Erträge der Kartoffelsorten Oberarnbacher Frühe, Planet, Lori und Agnes im Tal (610 m) und an der Waldgrenze bei Innsbruck und Vent (1880 bzw. 2014 m). Flora 151.
- (1962): Der Einfluß von Mikroklima, Bewässerung und Anbauweise auf Stauden- und Kartoffelproduktion verschiedener Kartoffelsorten in zentralalpinen Hochlagen Tirols. Wetter und Leben, 14. Jg., Heft 7—8.
- ZINGG, Th. (1960): Beitrag zum Klima von Weißfluhjoch. Winterberichte des Eidgen. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung 1959/60, E.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: [53](#)

Autor(en)/Author(s): Winkler Erich

Artikel/Article: [Beiträge zur Klimatologie hochalpiner Lagen der Zentralalpen. 209-223](#)