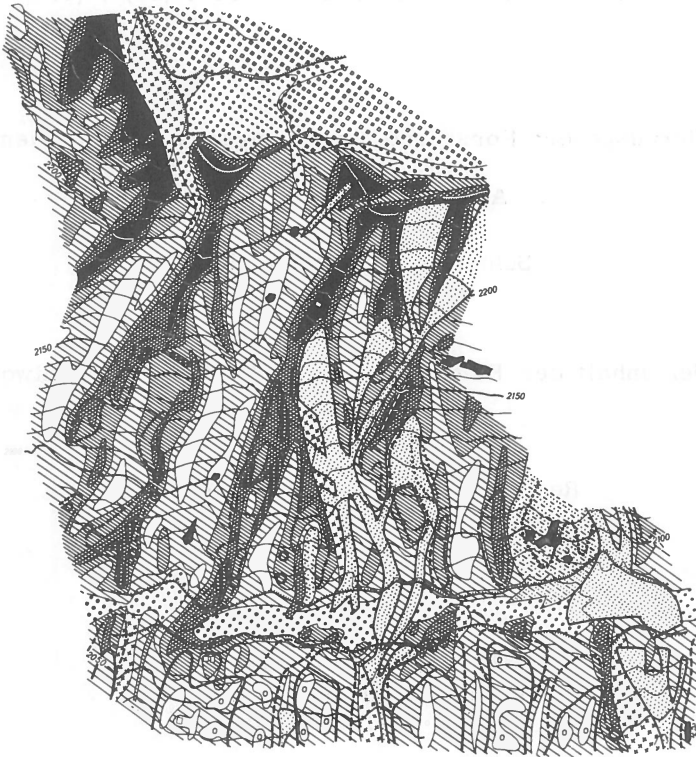


ANGEWANDTE PFLANZENSOZIOLOGIE

VERÖFFENTLICHUNGEN DER
FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT WIEN



STRAHLUNG UND VEGETATION

VON H. KRONFUSS UND R. STERN

ÖSTERREICHISCHER
AGRARVERLAG
WIEN

1978
HEFT 23

ODC 221.9 : 174 : 111.84 : 181.8 : (23) : (494)

Herausgeber: Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien

Alle Rechte vorbehalten

Schriftleitung: Dr. R. Stern

Für den Inhalt der Beiträge sind die Verfasser verantwortlich

Redaktion: Prof. Dr. W. Tranquillini

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Printed in Austria

Kommissionsverlag
Österreichischer Agrarverlag 1014 Wien

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1.0 Einleitung	5
1.1 Aufgabe und Ziel	6
2.0 Die Strahlung	7
2.1 Allgemeines	7
2.2 Der Strahlungsstrom	7
2.3 Klimatopographie	8
2.4 Korrelationen	8
3.0 Die Untersuchungsgebiete	9
4.0 Arbeitsmethodik	12
4.1 Grundlagen	12
4.2 Das Kartierungsverfahren	12
4.2.1 Aufnahmetermin	12
4.2.2 Sonnenstrahlung	13
4.2.3 Durchführung	15
5.0 Die Strahlungskarten	48
5.1 Karte Obergurgl	48
5.2 Karte Hagen	49
6.0 Strahlung und Vegetation	50
6.1 Material und Methodik	51
6.2 Strahlungsfelder und Pflanzengesellschaften	54
6.3 Strahlung und Schneedeckenandauer	61
6.4 Schneedeckenandauer und Pflanzengesellschaften	61
6.5 Strahlung - Schnee - Vegetation	64
7.0 Diskussion und Ausblick	69
Zusammenfassung	71
Summary	71
Résumé	72
Abbildungsverzeichnis	73
Literaturverzeichnis	74

VORWORT

Die Herausgabe des Heftes 23 war für das Jahr 1978 geplant. Technische Schwierigkeiten bei der Auswertung des umfangreichen Grundlagenmaterials verhinderten das Vorhaben. Wir ersuchen die Bezieher und Tauschpartner dafür um Verständnis.

Die in den Jahren 1979 - 1980 erschienene Literatur zu diesem Thema konnte daher noch Berücksichtigung finden und wurde ebenso in das Literaturverzeichnis aufgenommen.

Innsbruck im Jänner 1981

Die Autoren

1.0 EINLEITUNG

Die große Bedeutung der Strahlung für biologische Prozesse auf der Erde findet ihren Niederschlag in einer kaum überschaubaren Literatur. Zahlreiche Untersuchungen in den letzten Dezennien, die sich mit dem Strahlungshaushalt befassen, trugen in ihrer Gesamtheit erheblich zur Aufhellung dieses Fragenkomplexes bei, indem sie teils meßtechnisch-instrumentelle Voraussetzungen schufen (LINKE, 1934; SAUBERER, 1948; THAMS, 1948; SAUBERER und HÄRTEL, 1959; DIRMHIRN, 1964) teils mathematisch-physikalische Grundlagen für eine möglichst exakte Erfassung der Teilkomponenten des Wärmehaushaltes und des Strahlungsklimas im besonderen bereitstellten (MÖRIKOFER, 1929; TOPERCZER, 1930; ANGSTRÖM, 1934; THAMS, 1945; GRUNOW, 1961; BUFFO, FRITSCHEN und MURPHY, 1972). Ebenso wurden die Arbeiten, welche Strahlungsbilanz und Wärmehaushalt durch Messungen und Berechnungen ermitteln, vorangetrieben (BAUMGARTNER, 1952; 1956; 1963; GEIGER, 1960; FRANK and LEE, 1966). Die Kartierung des Wärmehaushaltes in einem reliefierten Gelände scheitert derzeit noch an methodischen und technischen Schwierigkeiten.

Kartografische Darstellungen beschränken sich weitestgehend auf die Sonnenstrahlung als wichtigste Komponente des Wärmehaushaltes oder auf die Globalstrahlung bei Einbeziehung der Himmelsstrahlung. Dafür können verschiedene Methoden eingesetzt werden (BAUMGARTNER, 1960; BARTORELLI, 1965; TURNER, 1966; GARNIER und OHMURA, 1968; GIETL, 1974; ENDERS, 1976; 1979; FRIEDEL, 1979).

Kartierung und kartografische Darstellung der Besonnungsandauer (Andauer-Isophoten nach FRIEDEL, 1965) wurden an der Außenstelle für subalpine Waldforschung in Innsbruck seit den frühen Sechzigerjahren auch unter Beiziehung photogrammetrischer Methoden (GIERSIG, 1964), versucht. Nach Klärung der methodischen Möglichkeiten wurden ab 1968 in den beiden Versuchsfeldern, Obergurgl im Ötztal und Haggen im Sellraintal, Schattenkartierungen zur Ermittlung der Besonnungsandauer durchgeführt. Zudem erfolgten Messung und Berechnung der Globalstrahlung auf verschiedenen gerichtete und geneigte Hangteile (Facetten). Auf Grund all dieser Arbeiten gelang es, Karten über die räumliche und zeitliche Verteilung der Strahlung zu entwerfen (siehe Beilagen 1, 2, 4, 5, 6).

Da es sich um angewandte Forschung handelt, war es in weiterer Folge zwingend notwendig, Strahlungs- und Vegetationsfigurierung auf Ähnlichkeit oder gar mögliche Übereinstimmung zu prüfen. Dies deshalb, weil bereits Vegetationszonierungen bzw. Boden-Vegetationskomplexe beschrieben wurden (NEUWINGER und CZELL, 1961; FRIEDEL, 1967), deren räumliche Verteilung durch die Schneedeckenandauer bestimmt wird.

1.1 Aufgabe und Ziel

Die Aufgabe von Standortforschung auf breiter ökologischer Grundlage liegt darin, für die Praxis annehmbare Ergebnisse zu bringen. Damit wird wertvolle Hilfe für die Aufforstung in extremen Lagen der subalpinen Stufe (= Hochlagenaufforstung) geboten.

Die Ziele einer dergestalt praxisbezogenen Standortforschung bestehen daher im wesentlichen in der Feststellung der Produktionskraft innerhalb noch deutlich differenzierbarer Standorte. Gelingt dies, so erhalten wir als Folge davon sehr wesentliche Hinweise, sowohl über Möglichkeiten und Grenzen von Aufforstungen in der subalpinen Stufe, als auch über die Bewirtschaftung der Gebirgswälder.

Der Gesamtkomplex "Standort" zeichnet sich durch vielschichtige Faktorenbündelungen aus. Dies gestaltet eine ganzheitliche Erforschung äußerst schwierig. Grundlegende Arbeiten durch das Team der Außenstelle für subalpine Waldforschung Innsbruck der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien beweisen ökologisch bedeutsame und wesentliche Zusammenhänge zwischen windfiguriertem Schneedeckenandauer, Vegetation und Boden in der Relieflandschaft der subalpinen Stufe (Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. 1961, 1963, 1965, 1967, 1972).

In der vorliegenden Publikation "Strahlung und Vegetation" wird eine Antwort zur Frage versucht, ob in unseren Breiten im Gebirge die Strahlung ebenso deutlichen direkten Einfluß auf die Verteilung der Vegetation nimmt, wie dies andere Klimafaktoren tun. Wie wir später sehen werden, ist dazu die Erfassung der Verteilung im Gelände möglicher Hangbestrahlung während der Vegetationsperiode notwendig. Es handelt sich also um eine i. a. thematisch-kartographische Vorgangsweise, insbesondere um Ökographie.

2.0 DIE STRAHLUNG

2.1 Allgemeines

Die Einstrahlung erfährt mit steigender Seehöhe an bewölkungsfreien Tagen eine räumlich-topografische Ausprägung. Ganz allgemein wird im Gebirge der Lebensraum von Vegetation und Einzelpflanzen in den bodennahen Luftschichten von der Einstrahlung scharf geprägt. Dies gilt im besonderen auch für Forstpflanzen bzw. für deren Wuchsleistung und Vitalität.

Angesichts der zunächst nicht spezifizierten ökologischen Bedeutung des Strahlungsfaktors für die Pflanzenwelt im Gebirge interessiert die räumliche Verteilung von möglichen Quantitäten globaler Hangbestrahlung während der Vegetationsperiode auf verschiedenen Hangteilverflächen (= Hangfacetten).

2.2 Der Strahlungsstrom

Der solare Strahlungsstrom bestimmt als wichtigste Größe des Energiehaushaltes innerhalb der Geosphäre den Wärme- und Wasserhaushalt und greift dadurch mittelbar in den organischen und anorganischen Stoffkreislauf ein. Die Strahlungsbilanz $Q = (S + H) - (E - G) - R$ bringt dies klar zum Ausdruck. Das Strahlungsangebot ist durch das Überwiegen der kurzwelligen Strahlungskomponenten ($S + H$) als Globalstrahlung durch kurzfristige, jedoch intensive Wirkung gekennzeichnet. S = direkte Sonnenstrahlung, H = diffuse Himmelsstrahlung. Der gleichfalls kurzwellige Anteil der Reflexstrahlung R tritt gegenüber dem globalen Strahlungsdargebot quantitativ erheblich zurück. An der effektiven Ausstrahlung des Erdbodens ($E - G$) sind die Ausstrahlung E und die Gegenstrahlung G als langwellige Komponenten beteiligt. Wir untersuchen das Strahlungsangebot an die Erdoberfläche, betrachten also die Globalstrahlung ohne den Wärmeumsatz zu berücksichtigen (GEIGER, 1960).

2.3 Klimatopographie

Wenn wir die klimatischen Verhältnisse einer geografisch eng begrenzten Örtlichkeit im Bereich der bodennahen Luftschicht kennzeichnen wollen, begegnen wir der Tatsache, daß der Ablauf von Klimafaktoren entsprechend den räumlichen Dimensionen der Landschaft eine typische Ausprägung erfährt. Dies führte bereits notwendigerweise in der Anfangsperiode der Klimaforschung zu einer begrifflichen Abgrenzung in Groß(raum)-, Klein- und Mikroklima, wobei innerhalb dieser Reihe enge Zusammenhänge bestehen. Das Kleinklima, welches überlagertes Großklima zur Voraussetzung hat, wirkt bis hinein in den eng gefaßten Bereich des Mikroklimas. Klein- und Mikroklima erscheinen dadurch als abhängige Klimata an das Großklima angeschlossen (GEIGER und SCHMIDT, 1934). Durch Klassifizierung etwa nach Tageswetterklassen nach den Kriterien Besonnungsdauer, Niederschlag und Wind sind wir in der Lage, Kleinklimadaten eines Meßstellennetzes an die wetterkennzeichnenden Daten einer Bezugsstation anzuschließen. Eine für das Untersuchungsgebiet repräsentative Bezugsstation ermöglicht es, rasch den "Wettertyp" durch die Bildung von Tageswetterklassen zu erfassen (LAUSCHER, 1972; WILLMERS, 1976).

In Verbindung mit einer Tages-Wetterklassenbildung, die es gestattet, den Wetterablauf während einer Vegetationszeit zu charakterisieren, erscheint es notwendig, die Verteilung der globalen Hangbestrahlung im Gelände an einem klaren Strahlungstag großmaßstäbig zu kartieren. Durch die Quantifizierung der maximal möglichen Strahlungsintensität erhalten wir das standörtliche Potential des Strahlungsfaktors im jeweiligen Untersuchungsraum.

Im folgenden werden dann Mittelwerte der potentiellen Tagessummen der Globalstrahlung im Verlaufe der Vegetationsperiode, die den einzelnen Hangfacetten des Reliefs zukommen, ermittelt. Dies geschieht mit Hilfe berechneter und empirisch überprüfter Tagesbogenkurven, die an einem Termin gewonnen wurden, der die mittlere Konfiguration der Strahlungsintensität während der Vegetationszeit darstellt.

2.4 Korrelationen

Für sich allein betrachtet besitzen absolute Größen eines Klimafaktors in ökologischer Sicht nur untergeordnete Bedeutung, sie werden jedoch in Verbindung mit der Standortvielfalt des Geländes bedeutsam. Wir halten daher ebenso die globale Hangbestrahlung in ihrer Verteilung im Gelände für einen wichtigen Bestandteil ökologischer Klimakarten.

Der hier aufgezeigte Weg zur Erlangung von Kleinklimakarten besteht im wesentlichen aus einer Verknüpfung von physiognomischen Arbeitsmethoden mit einer Klimadatenermittlung, die mit Hilfe eines mobilen Meßstellennetzes durchgeführt wird (PRUTZER und CERNUSCA, 1965). Über die Anwendungsmöglichkeiten einer Kartierung der globalen Hangbestrahlung als Grundlage für die kartographische Darstellung gleichläufiger strahlungsfigurierter Klimafaktoren wie Bodenoberflächentemperatur und Verdunstung wurde bereits von FRIEDEL, 1965, berichtet. Demzufolge erhielte man eine ökologisch brauchbare mikroklimatische Geländegliederung erst dann, wenn man die Gesetzmäßigkeiten der geländeorientierten Beziehungen des Grundfaktors Globalstrahlung zu anderen Faktoren des Mikroklimas untersucht und ihre Korrelationen erforscht.

Da Pflanzengesellschaften schon auf engräumige Klimadifferenzierungen reagieren können, steht mit der Bodenvegetation ein augenfälliger Klimaindikator zur Verfügung, der jedoch erst durch Heranziehung klimatologischer Daten zu präzisieren ist. Ältere Arbeiten (KRAUSS, 1911; TÜXEN und DIEMONT, 1937) wiesen bereits auf Zusammenhänge dieser klimatischen Ursachengruppen mit Boden und Vegetation hin. Vor bald 20 Jahren publizierten zu diesem Fragenkomplex NEUWINGER-RASCHENDORFER und CZELL (1961) über die Beziehungen Boden - Vegetation in der subalpinen Stufe des "Stationsgebietes von Obergurgl", ähnlich wie es BRAUN-BLANQUET, PALLMANN und BACH (1954) für den Schweizerischen Nationalpark machten. NEUWINGER (1972) berichtet in methodischer Anlehnung an die früheren eigenen Arbeiten über die Verteilung von Boden-Vegetationskomplexen auch für das "Stationsgebiet Haggen".

Es bleibt weiteren Untersuchungen vorbehalten, den Stellenwert des Strahlungsfaktors innerhalb der kleinklimatischen Ursachengruppe für die Entstehung von Verteilungsmustern, wie z.B. von Boden und Vegetation, zu präzisieren.

3.0 DIE UNTERSUCHUNGSGBIETE

Im Rahmen der topographischen Größenordnung klimatologischer Forschung sind die Untersuchungsgebiete dem "Großlandschaftsklima" (nach GEIGER und SCHMIDT, 1934) der Ötztaler und Stubaiyer Alpen zugehörig. Fassen wir die räumlichen Dimensionen enger, etwa in der Größenordnung von 10 bis 20 km, können wir die untersuchten Geländebereiche in das "Geländeklima" (nach GEIGER und SCHMIDT, 1934) des Gurgler- und Sellraintales einordnen (Abb.1 und 2).

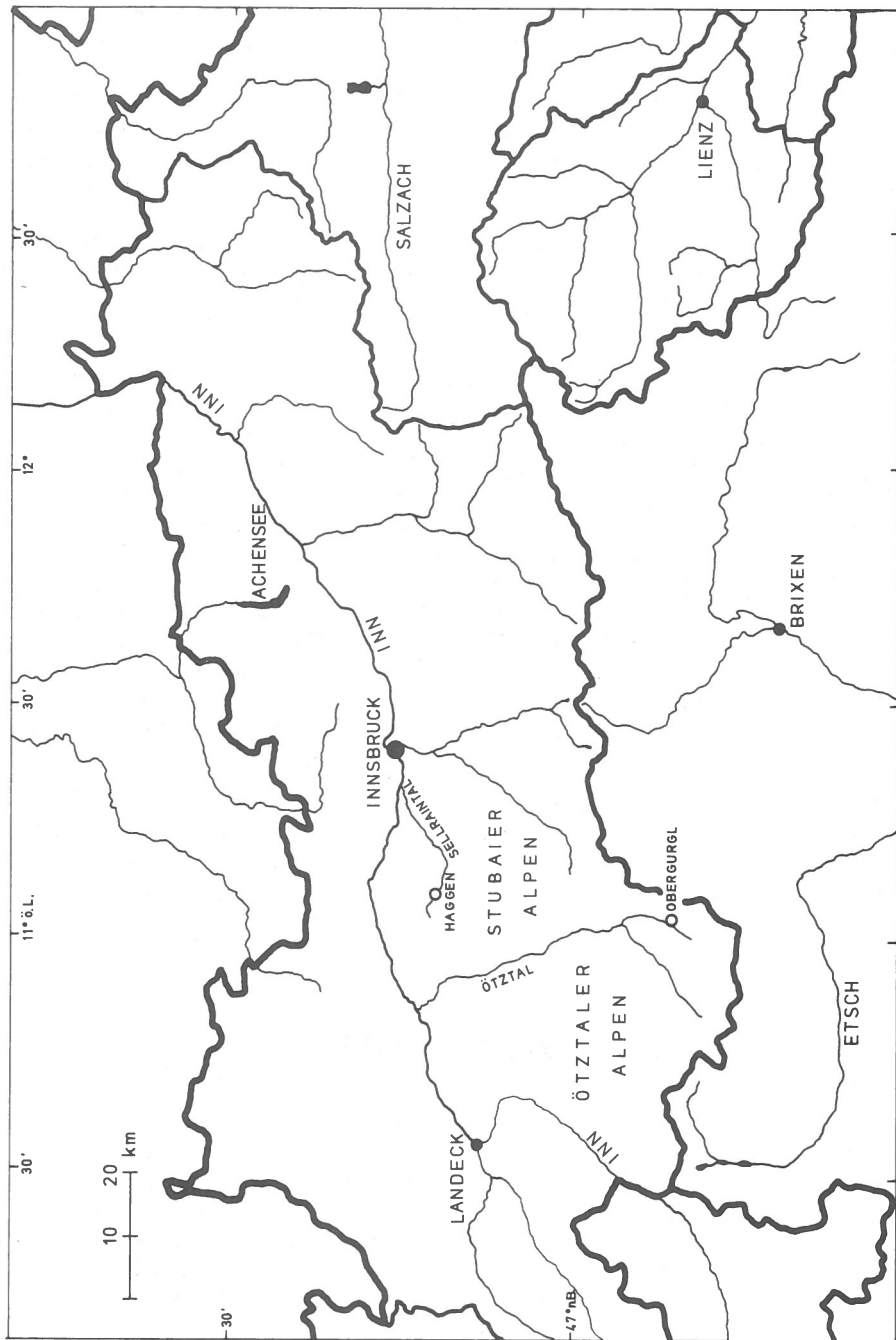


Abb. 1: Geographische Lage der Untersuchungsgebiete.



Abb. 2: Forstökologisches Versuchsgelände "Obergurgl/Poschach" in Bildmitte zwischen Königstal (l.) und Verwalltal (r.). Blick gegen SE. Htgrd. Hoher First (3405 m). Lärchen-Zirbenwald bis zur schmalen "unteren Verebnung". Zwergstrauchheiden bis zur "oberen Verebnung". Darüber alpine Grasheiden, Talboden 1830 m.

4.0 ARBEITSMETHODIK

4.1 Grundlagen

Da sich die Kennwerte von Kleinklimafaktoren innerhalb kleiner Entfernungen oft sprunghaft verändern, im Anhalt an das Relief jedoch gesetzmäßige Verteilungsmuster aufweisen, erfordert die Kartierung ein von den Methoden der klassischen Meteorologie abweichendes Aufnahmeverfahren.

Eine große Vereinfachung der Sonnenscheinkartierung zeichnet sich dadurch ab, daß sowohl die Kartierung des Bergschattens (Beilagen 4-6), welcher die örtliche Sonnenscheindauer bestimmt, als auch Registrierungen sowie Berechnungen der Strahlungsintensität auf wenige Termine des Jahres beschränkt bleiben können (FRIEDEL, 1965).

Die Begründung dafür liegt darin, daß der Jahresgang der Strahlungsintensität mit großer Annäherung eine Sinuslinie darstellt, in die sich die Werte der Sommer- und Wintersonnenwende dergestalt einfügen, daß zwei Monate davor und zwei Monate nachher Mittelwerte für das Sommerhalbjahr bzw. Winterhalbjahr resultieren. Wir leiten daraus ab, daß 20. April und 20. August repräsentative Termine für das Sommerhalbjahr darstellen. Die Messungen und Beobachtungen erfolgten daher an einem wolkenfreien Strahlungstag um den 20. August. Es wurden die maximal möglichen Mengen an Globalstrahlung auf die Hangfacetten erfaßt. Der Spektralbereich liegt zwischen 0,29 und 3,00 Mikron.

4.2 Das Kartierungsverfahren

4.2.1 Aufnahmetermin und Vegetationszeit

Dem vorliegenden Kartierungsverfahren wurde die Sonnenkonstellation um den 20. August an einem bewölkungsfreien Strahlungstag zugrunde gelegt mit Einbeziehung einiger Vor- und Folgetage, um die Sonnentagenbogen, die durch Messungen erhalten wurden, ergänzen zu können. Wie oben ausgeführt, wurde der zu diesem Termin ermittelte Tagesgang des

solaren Strahlungsstromes als repräsentativ für das Sommerhalbjahr angesehen, da er den Mittelwert für das Sommerhalbjahr zum Ausdruck bringt. Es war nun zu prüfen, inwieweit diese Annahme für die Vegetationszeit an der Waldgrenze Gültigkeit hat. Um dies festzustellen, wurden die in der "Klimatographie von Österreich" niedergelegten Tagessummen der Globalstrahlung für gleiche Zeiträume und Höhenlagen herangezogen (KLIMATOGRAPHIE von ÖSTERREICH 1958 : 52).

V	VI	VII	VIII	IX	Mittel
751	799	772	675	528	705

Tab.1: Mittlere Tagessummen der Globalstrahlung bei 0/10 Bewölkung auf eine ebene horizontale Fläche bei freiem Horizont, 48 Grad n.Br., (cal/cm²).

Vegetationszeit: Mai - September

Höhenlage: 2000 m ü.A.

Der Vergleich des Tagesmittels über die Vegetationszeit mit dem Tagesmittelwert des August ergibt eine Abweichung von insgesamt 30 cal (4,3 %). Wir können feststellen, daß sich die Abweichungen der Mittelwerte in tolerierbaren Grenzen halten, wodurch es zulässig ist, die zum Augusttermin erhaltenen Mittelwerte auch für die Vegetationszeit anzuwenden.

Dies trifft für eine Seehöhe von 2000 m ü.A. unter den genannten Bedingungen zu, welche im allgemeinen mit der Waldgrenze gleichzusetzen ist. Da im Bereich der beiden Untersuchungsgebiete die Höhenkoten zwischen 1700 m und 2300 m ü.A. liegen, fällt somit die mittlere Höhenlage mit der 2000 m-Isohypse zusammen. Nachdem die Frage nach der Zulässigkeit des gewählten Aufnahmetermins beantwortet wurde, war anschließend zu entscheiden, inwieweit die in unseren Untersuchungsbereichen vorhandenen Seehöhenunterschiede die Mittelwerte der globalen Tagesstrahlungssummen beeinflussen.

4.2.2 Sonnenstrahlung und Seehöhe

Bekanntlich nimmt die Intensität der Sonnenstrahlung mit steigender Seehöhe zu. Es war daher zu untersuchen, ob bei der Erfassung der Strahlungssummen mit dem Sternpyranometer die Höhenunterschiede in den Untersuchungsgebieten zu berücksichtigen seien. An Hand von Interpolationen nach Tabellen (KLIMATOGRAPHIE von ÖSTERREICH 1958) soll für die festgestellten Höhengrenzen gezeigt werden, wie sich die höhen-

abhängige Zunahme der Strahlungsintensität zunächst auf die beiden Komponenten der Globalstrahlung, die direkte Sonnenstrahlung und die Himmelsstrahlung, auswirkt. Als Vergleichszeitraum wurde wieder die Vegetationszeit genommen.

Seehöhe	V	VI	VII	VIII	IX	Mittel
1700 m	664	712	683	598	465	625
2300 m	695	742	720	627	491	655

Tab. 2: Zunahme der Sonnenstrahlung mit der Seehöhe bei 0/10 Bewölkung während der Vegetationszeit auf eine ebene horizontale Fläche bei freiem Horizont, 48 Grad n.Br.
Mittlere Tagessummen, Werte in $\text{cal/cm}^2/\text{d}$.

Der den Seehöhen entsprechende Tagesmittelwert wurde durch Interpolation der Tagessummen für die Monate Mai bis einschließlich September errechnet (KLIMATOGRAPHIE von ÖSTERREICH 1958 : 31). Daraus ersieht man eine Zunahme der direkten Sonnenstrahlung mit 30 cal/cm^2 um nahezu 5 %. Nach der Tab. 3 entspricht diese Kalorienmenge annähernd der Hälfte des Anteils der gesamten Himmelsstrahlung in dieser Höhenlage.

Seehöhe	Mittel während der Vegetationszeit
1700 m	66
2300 m	60

Tab. 3: Abnahme der Himmelsstrahlung mit der Seehöhe bei 0/10 Bewölkung während der Vegetationszeit bei freiem Horizont, 48 Grad n.Br.
Mittlere Tagessumme, Werte in $\text{cal/cm}^2/\text{d}$.

Wir entnehmen aus Tab. 3, daß die Tagessumme der Himmelsstrahlung bei 600 m Höhenanstieg ab 1700 m ü. A. um insgesamt 6 cal/cm^2 abnimmt.

Seehöhe	V	VI	VII	VIII	IX	Mittel
1700 m	734	787	755	661	517	691
2300 m	757	810	784	685	537	715

Tab. 4: Zunahme der Globalstrahlung mit der Seehöhe bei 0/10 Bewölkung während der Vegetationszeit auf eine ebene horizontale Fläche bei freiem Horizont, 48 Grad n.Br.
Mittlere Tagessummen, Werte in $\text{cal/cm}^2/\text{d}$.

Die Intensitätszunahme der Globalstrahlung für die Vegetationszeit zwischen höchster und tiefster Lage des Untersuchungsgebietes beträgt demnach 24 cal. Die geringere Zunahme des globalen Strahlungsstroms bei 600 m Höhenanstieg (3,5 %) gegenüber der direkten Sonnenstrahlung (4,8 %) kann durch die gleichzeitig stattfindende Abnahme der diffusen Himmelsstrahlung erklärt werden. Aus den Tabellenwerten ist demnach klar zu entnehmen, daß für eine Strahlungskartierung in dieser Höhenstufe (1700 - 2300 m ü. A.) Unterschiede an Seehöhe vernachlässigt werden können. Die Differenzen sind kleiner als jene, die zwischen Augusttermin und dem Tagesmittelwert über die Vegetationsperiode hinweg auftreten.

4.2.3 Durchführung

Die Kartierung der globalen Hangbestrahlung beruht auf folgenden Teilschritten:

- 1 - Hangfacetttierung
- 2 - Aufnahme des Bergschattens
- 3 - Aufnahme des Tagesganges der Globalstrahlung
- 4 - Berechnung der Sonnenstrahlung.

HANGFAÇETTIERUNG

In den topographischen Karten, Maßstäbe 1 : 1 000 - 1 : 2 880, Isohypsenabstände 1 bzw. 5 m, werden die Untersuchungsgebiete nach Hangrichtung (= Wendung) und Hangneigung gegliedert. Durch diese sogenannte Hangfacetttierung entsteht ein Mosaik von Teilflächen unterschiedlicher Größe (Abb. 3, 4, 5, 6).

Eine Zusammenfassung der beiden Geländeparameter durch eine Aufgliederung der Richtungskarten nach zugehörigen Neigungsstufen auf einer Transparentfolie liefert die weitere kartografische Arbeitsunterlage. Die Flächenzuordnung nach Hangrichtungen erfolgte nach der 8-teiligen Windrose. Die Flächenabgrenzungen der Hangneigungen wurde nach der Neigungsskala in Tab. 5 vorgenommen.

Durch Planimetrierung der Hangfacetten sowohl nach Hangrichtung (Exposition) als auch Hangneigung (Inklination) erhalten wir die Flächengrößen (Tab. 6 und 7). Eine rasche Beurteilung der charakteristischen Unterschiede hinsichtlich Exposition und Flächenneigung ermöglichen die Diagramme der Abb. 7 und 8.

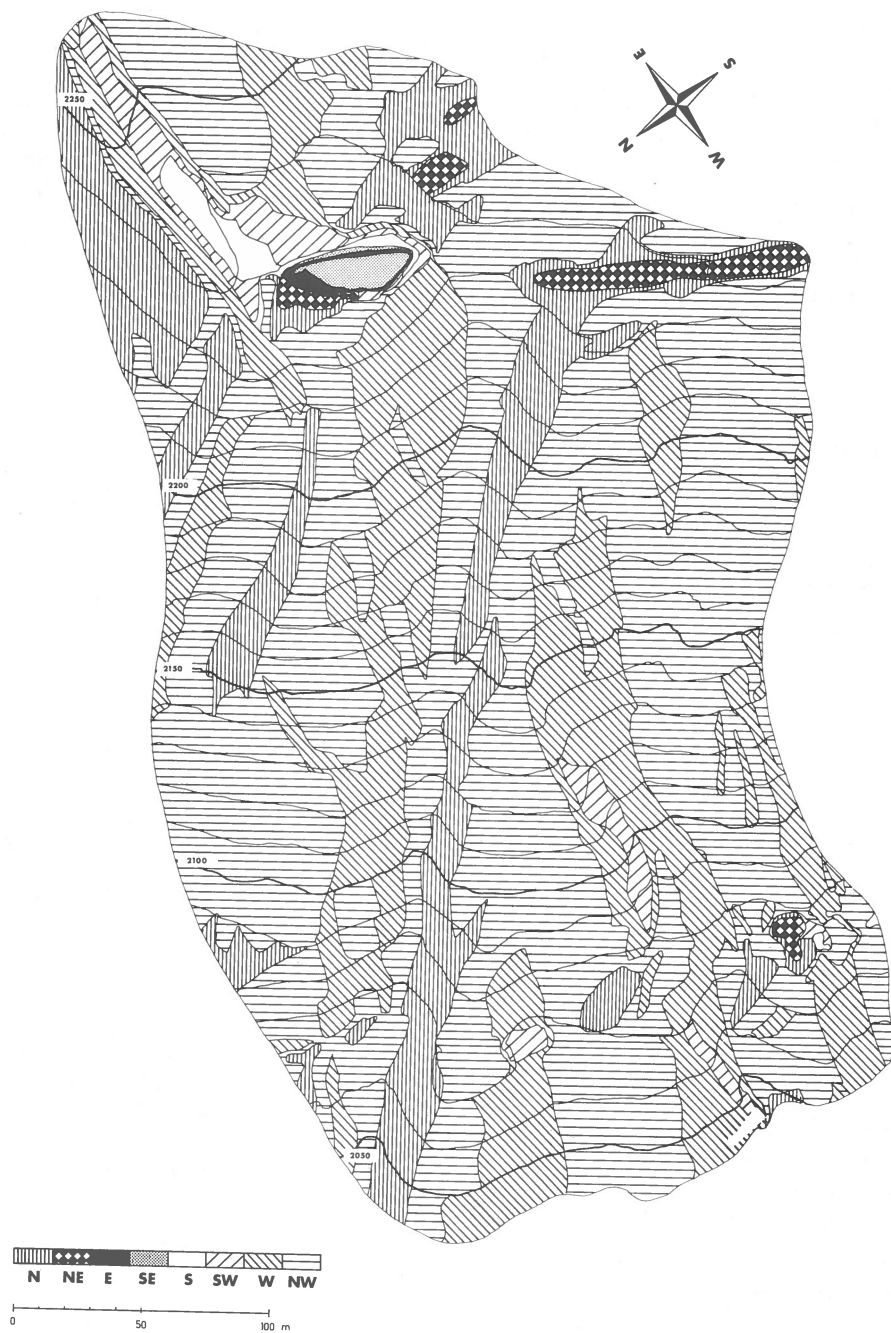


Abb. 3: Testgebiet Obergurgl. Karte der Hangrichtungen.

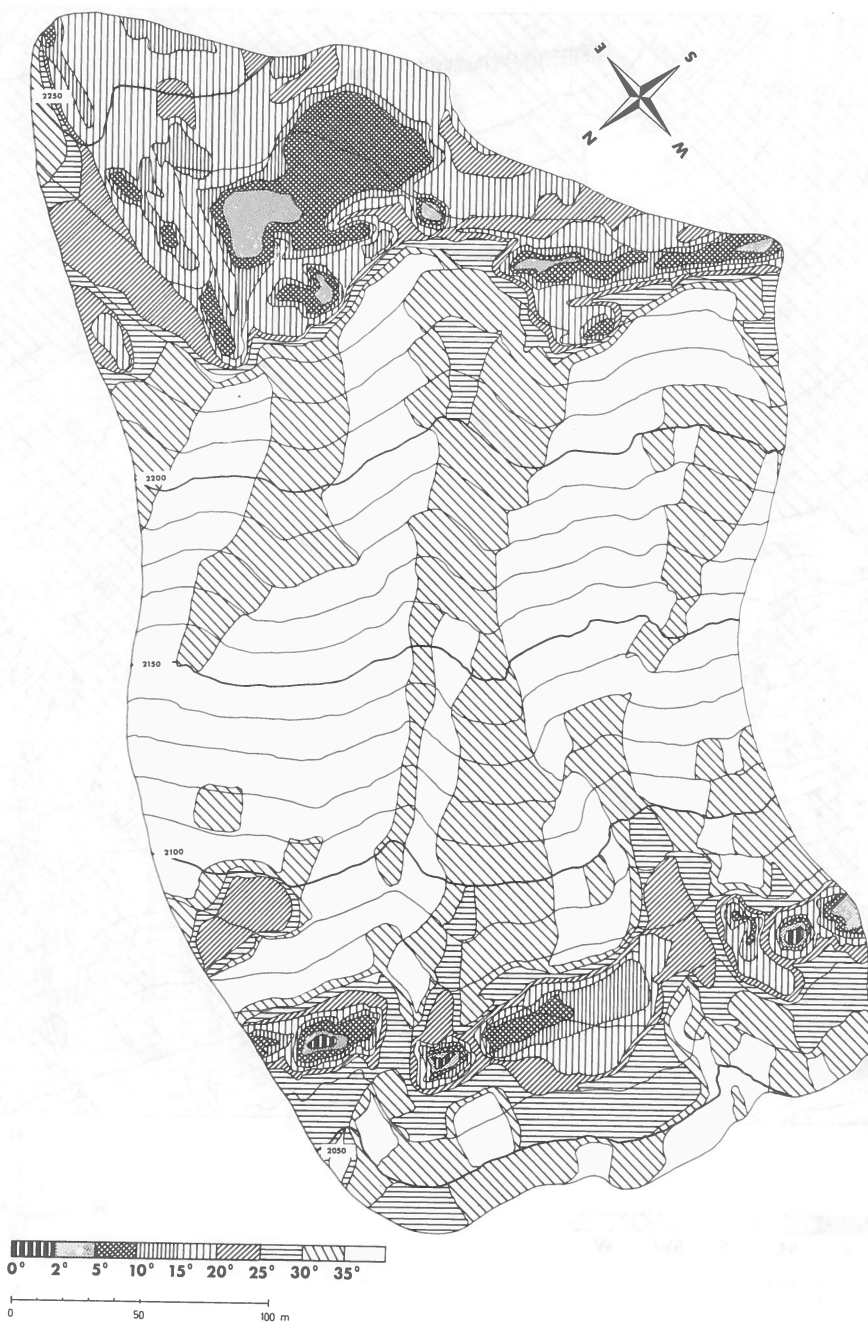


Abb. 4: Testgebiet Obergurgl. Karte der Hangneigungen.

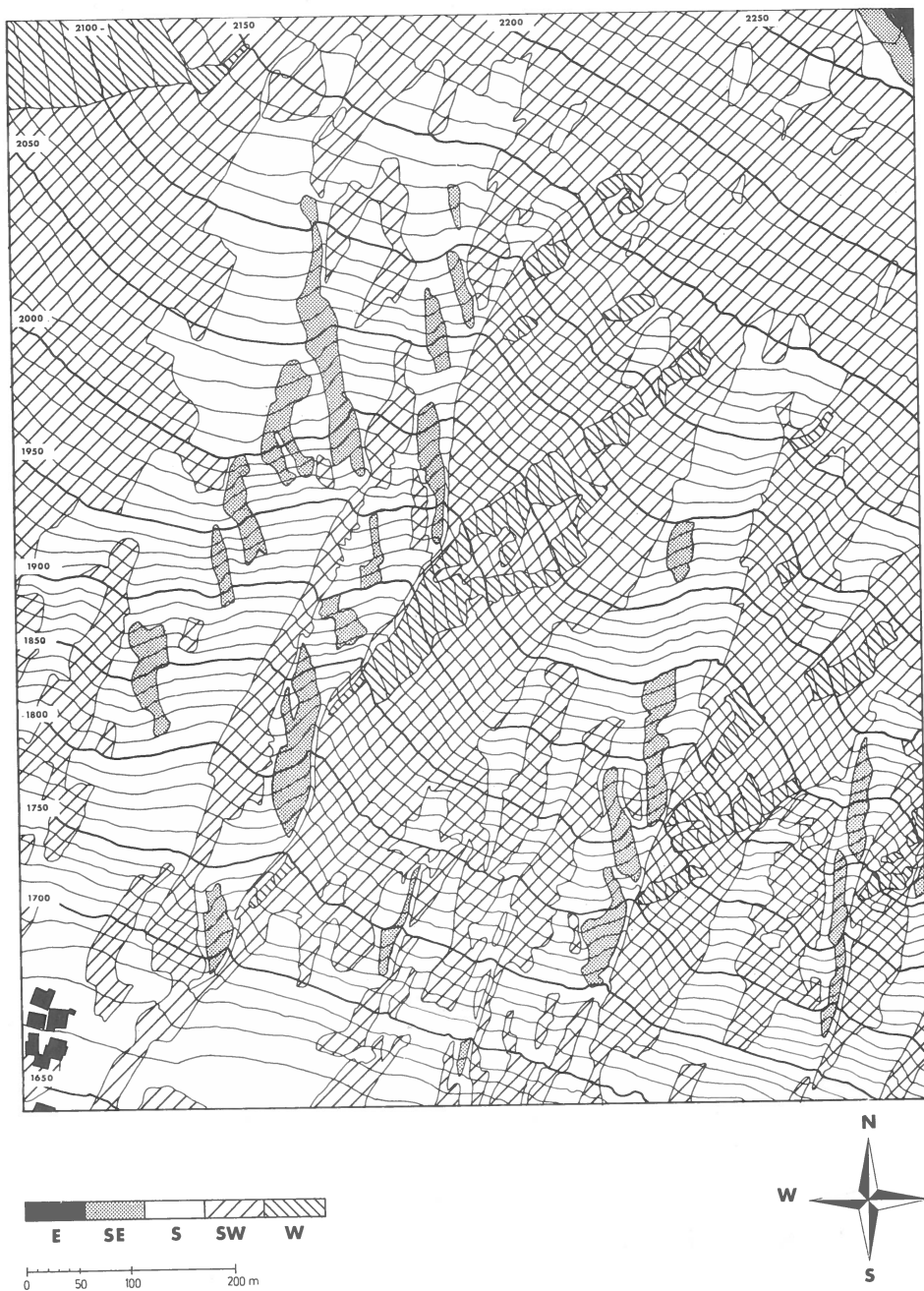


Abb. 5: Testgebiet Haggen. Karte der Hangrichtungen.

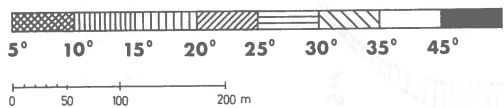
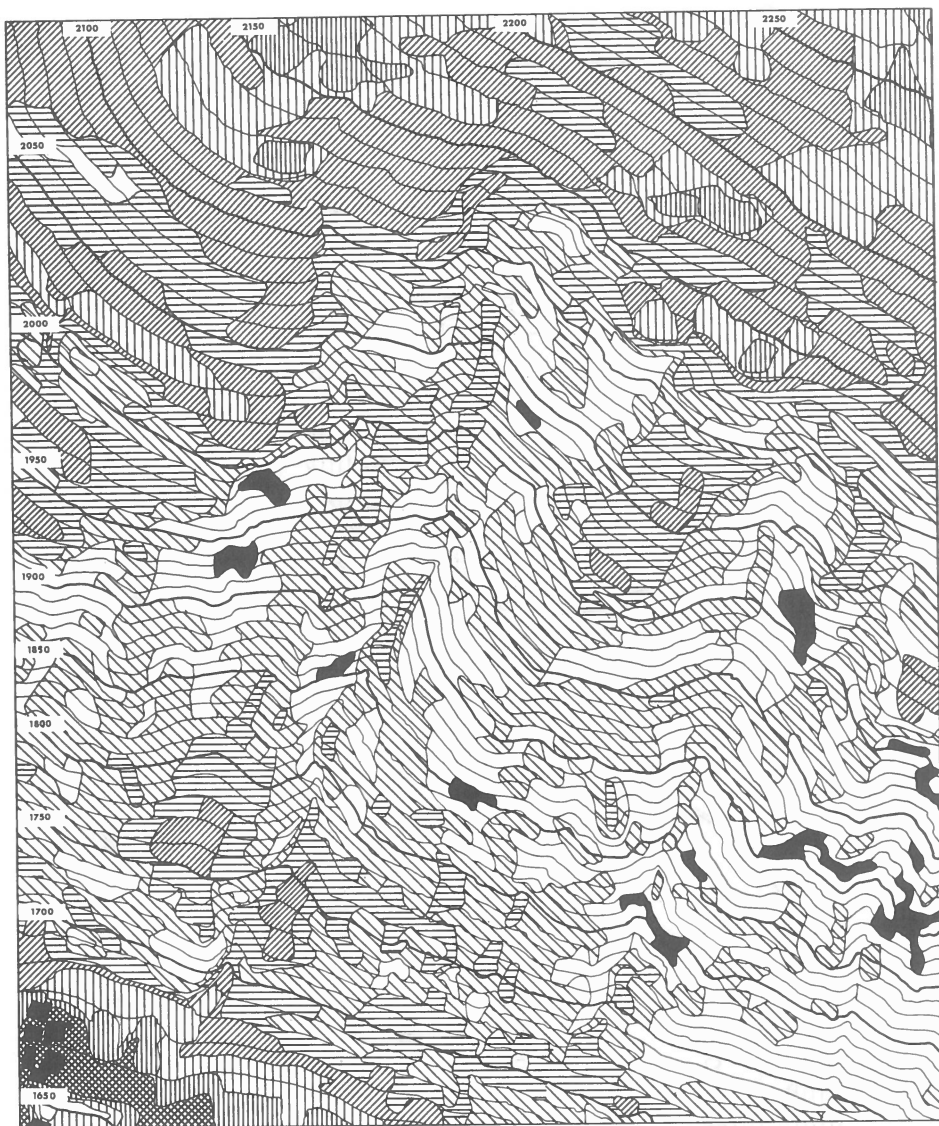


Abb. 6: Testgebiet Haggen. Karte der Hangneigungen.

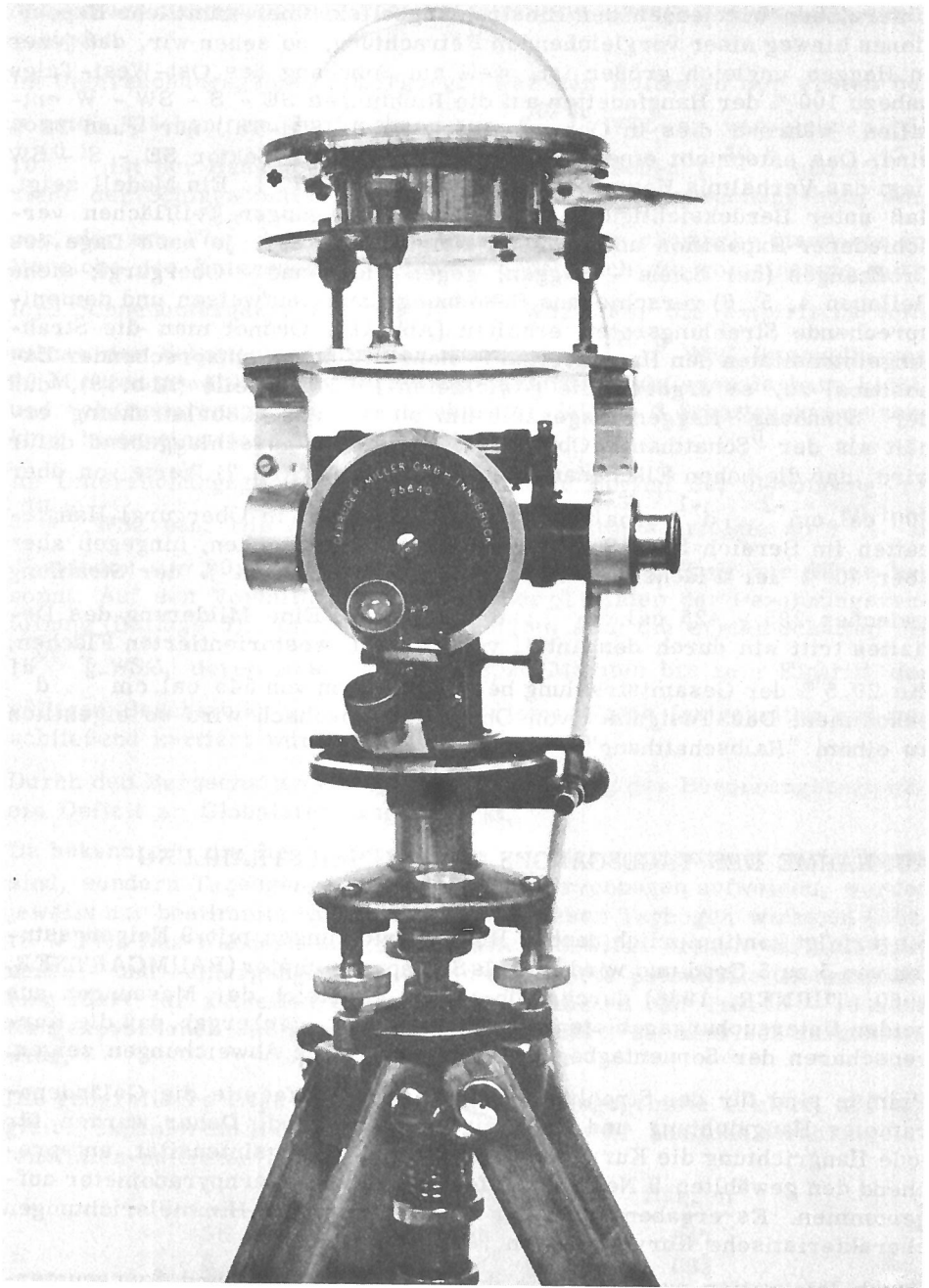


Abb. 9: Sternpyranometer - Theodolit.

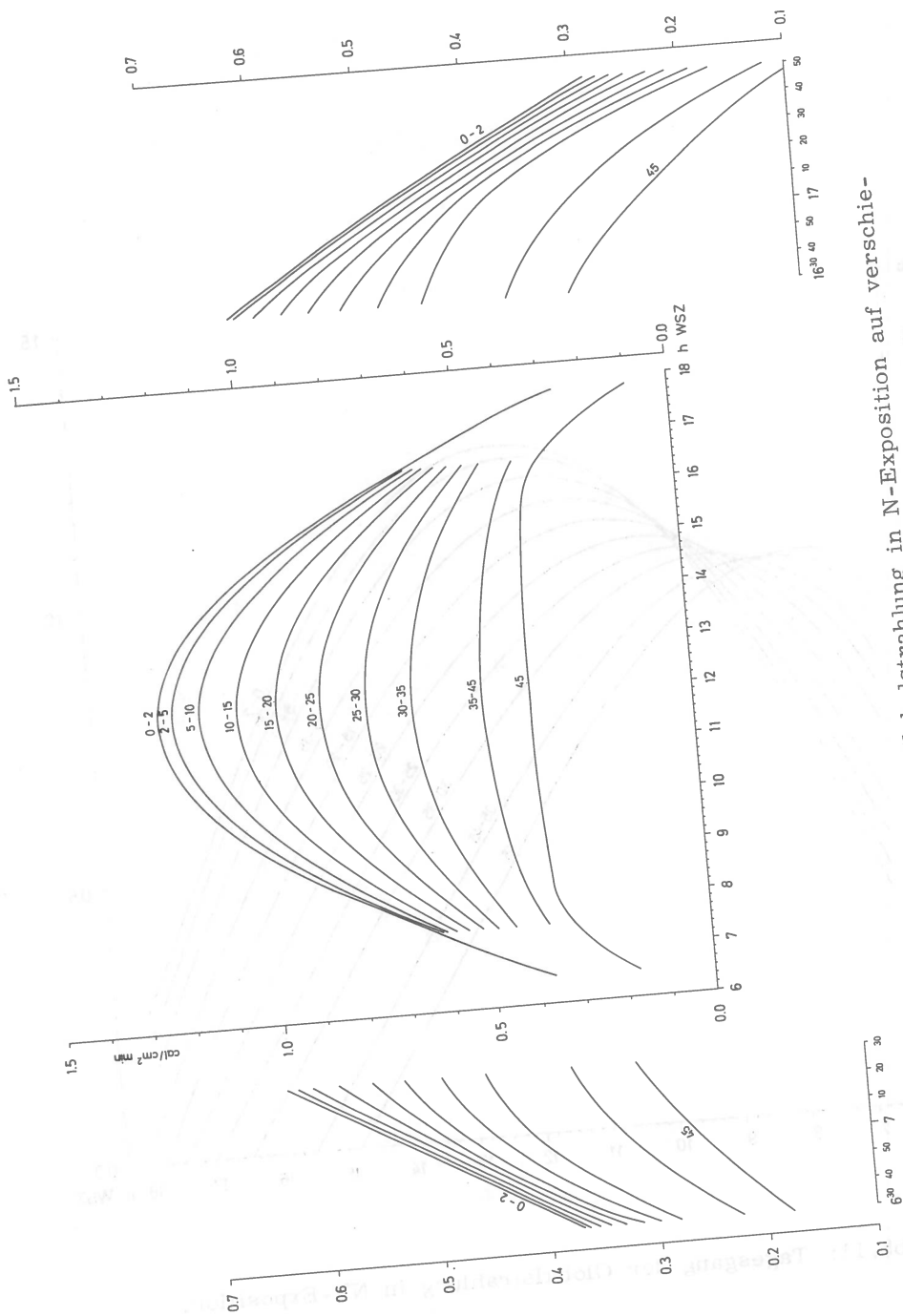


Abb.10: Tagesgang der Globalstrahlung in N-Exposition auf verschiedene Hangneigungen.

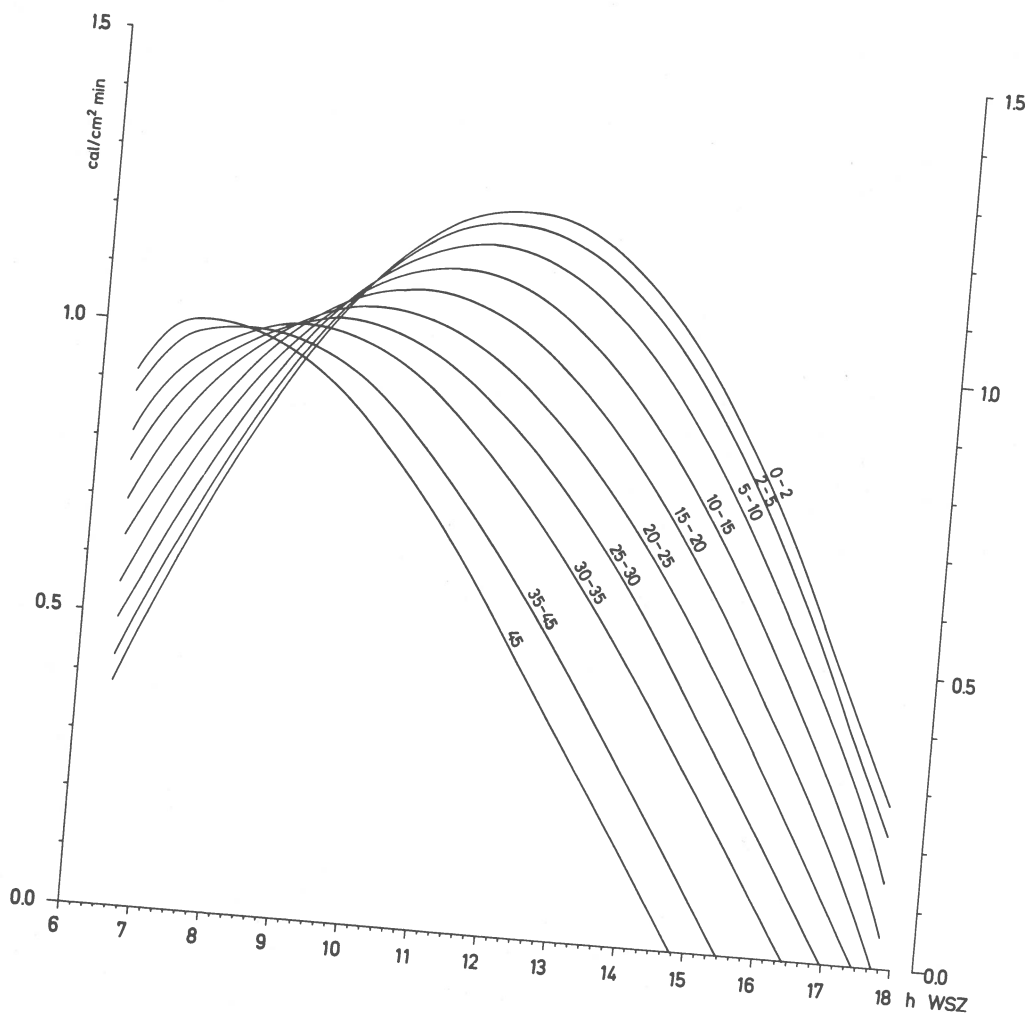


Abb.11: Tagesgang der Globalstrahlung in NE-Exposition.

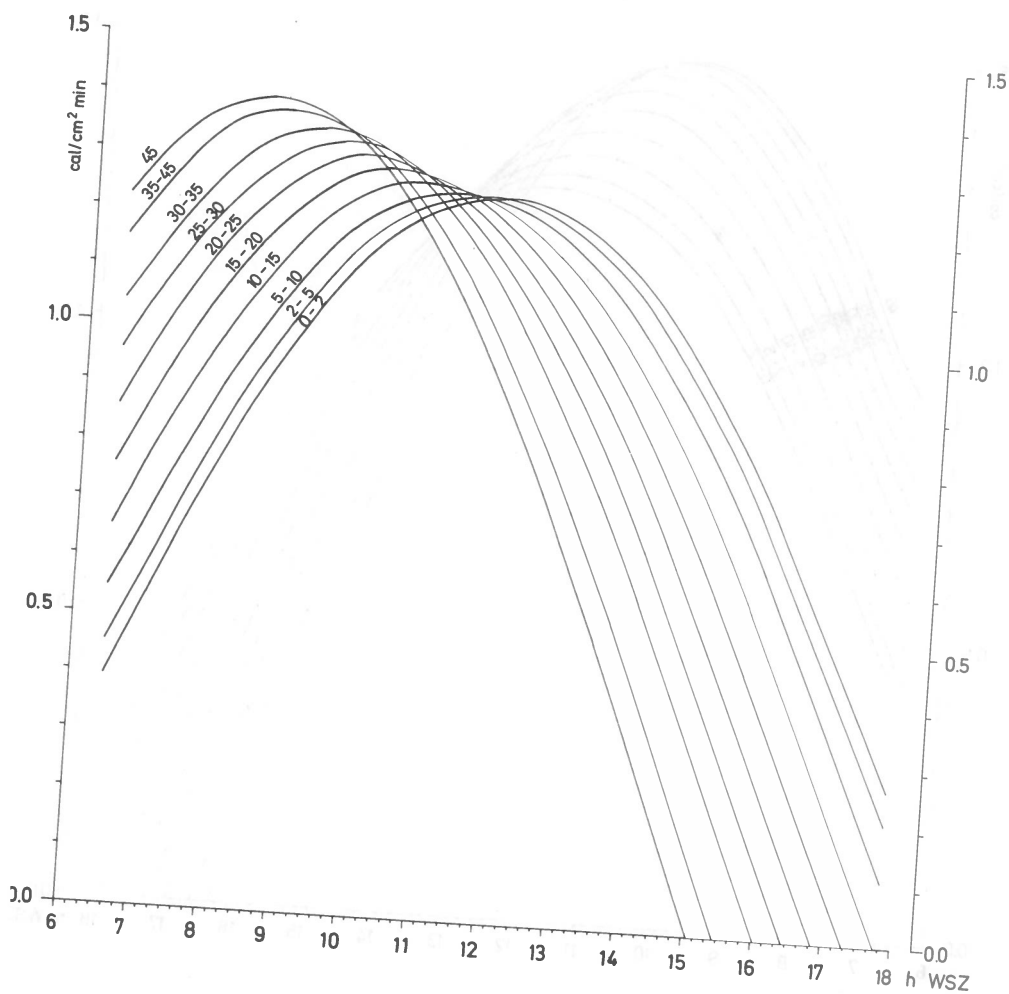


Abb.12: Tagesgang der Globalstrahlung in E-Exposition.

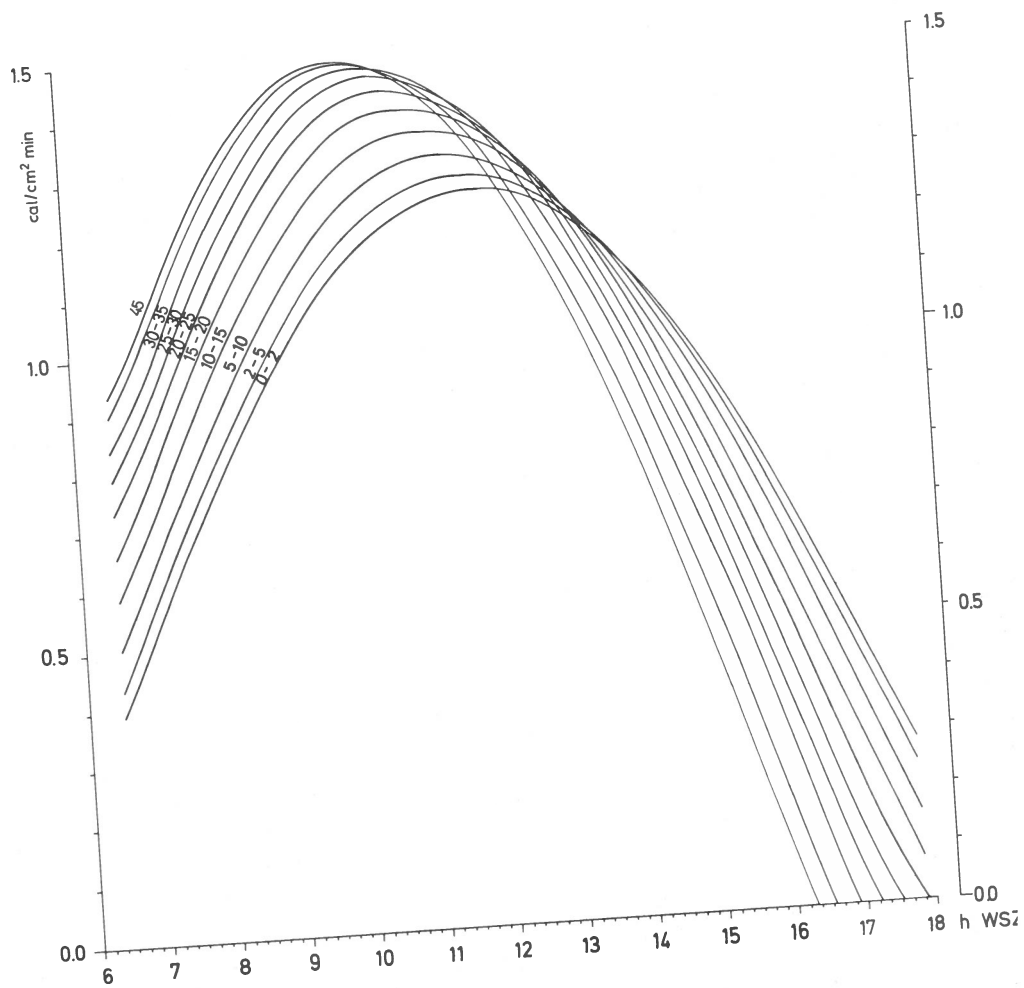


Abb.13: Tagesgang der Globalstrahlung in SE-Exposition.

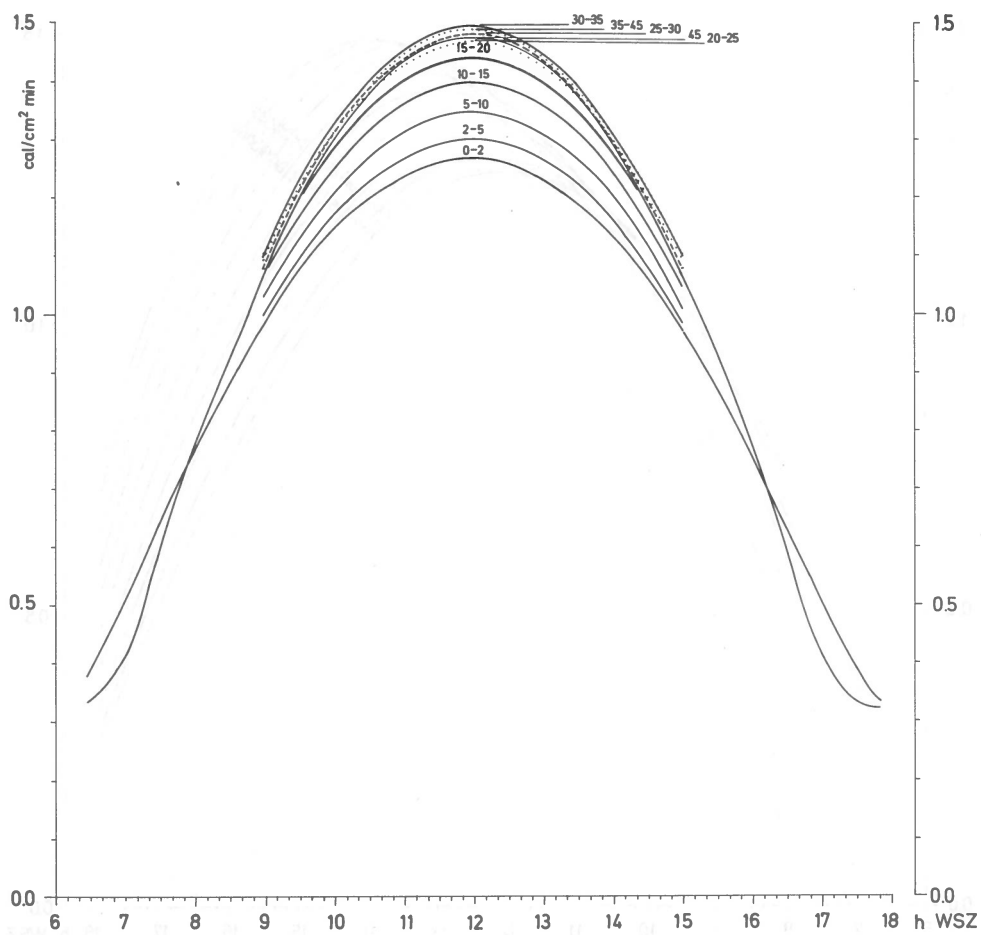


Abb.14: Tagesgang der Globalstrahlung in S-Exposition.

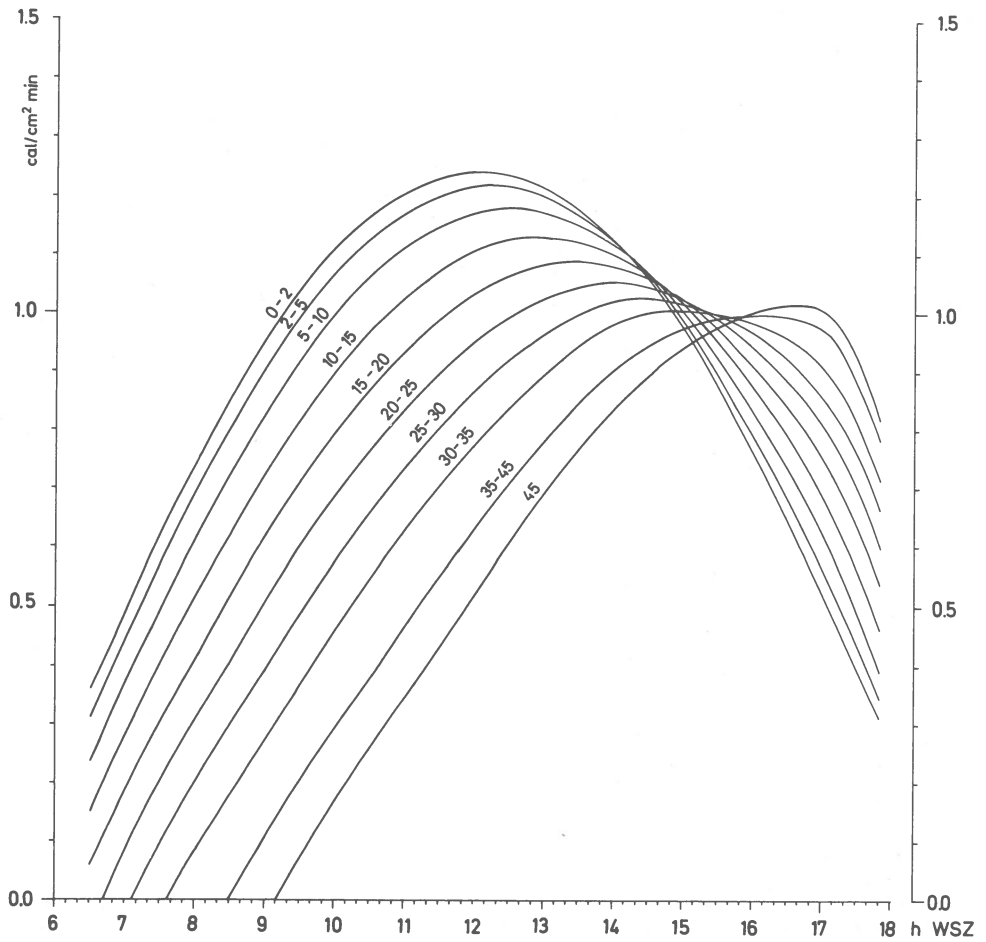


Abb.17: Tagesgang der Globalstrahlung in NW-Exposition.

Für die Messungen wurde ein Sternpyranometer der Firma Ph. SCHENK in Verbindung mit einem Galvanometer (NORMA 933468 - $2,63 \cdot 10^{-7}$ A/Skt.; 2,13 mV, 200 Ohm) verwendet. Das Sternpyranometer wurde in der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien auf Erfüllung des Cosinusgesetzes und auf Eignung als Eichgerät überprüft.

Vor Beginn des Meßvorganges wird das Sternpyranometer auf einen Theodolit geschraubt, der mittels Stativs meßgerecht aufgestellt wird (Abb. 9). Das Pyranometer sitzt auf einem DURAL-Ring auf und kann mit Hilfe von 3 Stellschrauben unabhängig vom Fernrohr verstellt werden. Zur Befestigung dieses Ringes am Fernrohr dienen Halterungen, die auf dem Tubus des Fernrohres aufgesteckt, mittels Flügelschrauben fixierbar sind. Nach Einspielen der Libelle des Pyranometers können nun zu den gewählten Richtungen die entsprechenden Neigungswinkel eingestellt und somit die Auffangfläche des Pyranometers rasch in die gewünschte Stellung gebracht werden. Zugleich werden am angeschlossenen Galvanometer Skalenwerte, die in cal umgerechnet werden, abgelesen. Als Aufstellungsort für das Strahlungsmeßgerät wurde in beiden Untersuchungsgebieten je ein Standort mit möglichst geringer Horizonteinengung an der Waldgrenze (2000 m ü. A.) ausgewählt. Die je an einem Standort in Obergurgl und Haggen vorgenommenen Messungen lieferten Kurvenscharen mit geringen Abweichungen, die durch Mittelung ausgeglichen wurden.

BERECHNUNG DER SONNENSTRAHLUNG

Es wurden die Tagesgänge der mittleren direkten Sonnenstrahlung nach den Parametern Richtung und Neigung berechnet.

Der Anteil der diffusen Himmelsstrahlung wurde durch Hinzufügung der durch Messung gewonnenen Werte (Abdeckung der Corona) berücksichtigt und damit Tagesgänge der globalen Hangstrahlung erhalten. Die Vergleiche der empirischen Tagesgänge mit den durch Berechnung erhaltenen ergaben gute Übereinstimmung.

Bevor wir die Berechnung der globalen Hangstrahlung durchführen, wollen wir zunächst den Tagesgang der direkten Sonnenstrahlung auf eine horizontale ebene Fläche bei freiem Horizont behandeln. Für natürliche Geländeflächen einer reliefierten Landschaft kann die Intensität der direkten Sonnenstrahlung mit den Rechenverfahren der Trigonometrie ermittelt werden, da der Strahlungsstrom auf geneigte Flächen eine geometrische Veränderung erfährt. Die Berechnungen erfolgten für den Bezugsstandort Obergurgl bei mittlerer geografischer Breite $\varphi = 46^{\circ}53'$.

Die Abweichung der hier bearbeiteten Gebiete hinsichtlich ihrer geo-

graphischen Koordination ist so gering ($\Delta \varphi = 20'$, $\Delta \lambda = 3'$), sodaß die Ergebnisse der Berechnungen für Obergurgl auch auf das Untersuchungsgebiet Haggen angewandt werden können.

Für die Berechnung der Sonnenstrahlung sind zunächst folgende Daten zu beschaffen:

- 1) Die wahre Sonnenzeit (WSZ).
- 2) Die Sonnendeklination (δ).
- 3) Die Sonnenhöhe (h) während des Tagesganges.

Ad 1) BERECHNUNG DER WAHREN SONNENZEIT (WSZ)

Nachstehender Gleichungsansatz führt zur WSZ:

$$\text{MEZ} - \text{MOZ} = + 15,6 \text{ min}$$

$$\text{MOZ} - \text{WSZ} = + 3,3 \text{ min}$$

$$\text{MEZ} - \text{WSZ} = + 18,9 \text{ min} = 18 \text{ min } 54 \text{ sec.}$$

Ad 2) ERMITTLUNG DER SONNENDEKLINATION (δ)

Unter Sonnendeklination ist der Winkel zwischen Äquator und der Ekliptikebene zu verstehen, der maximal zwischen den Grenzen $\pm 23 \frac{1}{2}^\circ$ schwankt. Die säkularen Schwankungen der Sonnendeklination sind gering. Für den gewählten Termin wurde der Tagesgang der Sonnendeklination aus Tabellen interpoliert (LINKE, 1953). Die dort für MEZ angegebenen Werte wurden auf die Stundenwinkel der WSZ (τ) abgestimmt. An obigem Termin lag die Tagesvariation der Sonnendeklination zwischen $12^\circ 27'$ und $12^\circ 18'$ ($\bar{M} = 12^\circ 22,5'$).

Ad 3) BERECHNUNG DER SONNENHÖHE (h) FÜR GEGEBENE STUNDENWINKEL (τ) DER WSZ

Die Berechnungen erfolgten nach der Formel:

$$\sin h = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau + \sin \varphi \cdot \sin \delta$$

$$\varphi = \text{geogr. Breite (= Konstante)}$$

$$\delta = \text{Sonnendeklination (= Variable mit Tagesgang)}$$

$$\tau = \text{Stundenwinkel (= Variable mit Tagesgang).}$$

Die zugehörigen Werte sind Tab.9 zu entnehmen.

WSZ	sin h	h
6 ⁰⁰ 18 ⁰⁰	0,15737	0° 03'
6 ³⁰ 17 ³⁰	0,24450	14° 09'
7 ⁰⁰ 17 ⁰⁰	0,32991	19° 16'
7 ³⁰ 16 ³⁰	0,41258	24° 22'
8 ⁰⁰ 16 ⁰⁰	0,49089	29° 24'
8 ³⁰ 15 ³⁰	0,56331	34° 17'
9 ⁰⁰ 15 ⁰⁰	0,62896	38° 59'
9 ³⁰ 14 ³⁰	0,68652	43° 21'
10 ⁰⁰ 14 ⁰⁰	0,73486	47° 18'
10 ³⁰ 13 ³⁰	0,77348	50° 40'
11 ⁰⁰ 13 ⁰⁰	0,80140	53° 16'
11 ³⁰ 12 ³⁰	0,81843	54° 56'
12 ⁰⁰	0,82414	55° 30'

Tab. 9: Sinusfunktion und Winkelgröße der Sonnenhöhe (h).

Die Umwandlung der Sonnenazimute (α) in Hangazimute (α') der gewählten 8 Hangrichtungen erfolgte in Anlehnung an KÄMPFERT, 1942). Die Absolutwerte der Sonnenstrahlung auf die verschiedenen gerichteten und geneigten Hangflächen (= Hangfacetten) wurden wiederum durch Multiplikation von Relativzahlen aus der Formel

$$I_n = I_0 \cdot \sin \alpha' \cdot \cos h \cdot \sin \nu + \sin h \cdot \cos \nu$$

mit der Multiplikationskonstante $I_0 = 1,395 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$ gewonnen.

Die zugehörigen Absolutwerte der Tagbogen der globalen Hangstrahlung erhalten wir durch Addition der Werte von Sonnenstrahlung und Himmelsstrahlung (Tab.11 und 12). Die Himmelsstrahlung ist eine nach Richtung und Neigung unabhängige Größe. Daher wurden sämtlichen Hangfacetten entsprechend dem Tagesgang gleiche Werte zugeordnet.

Die unabhängig voneinander durchgeführten Ermittlungen der Tagesgänge der globalen Hangstrahlung sowohl durch Messungen, als auch Berechnungen zeigten eine fast deckungsgleiche Übereinstimmung.

Die daraus resultierenden Kurvenscharen der Tagbogen (Abb.10 - 17) zeigen den gesetzmäßigen Verlauf der potentiellen globalen Hangstrahlung und bilden die Grundlage für die Gewinnung der Strahlungssummen unter Berücksichtigung der örtlich tatsächlich möglichen Besonnungszeiten. Diese Werte wurden also durch Integration jener, von Hangrichtung und Hangneigung bestimmten, Tagbogen-Kurven erhalten und zwar für die Bereiche zwischen "variablen Sonnenauf- und -untergängen", welche durch das Wandern des Bergschattens (s. Kap.4.2.3, Beilagen 4 - 6) hervorgerufen werden.

Beginn und Ende der tatsächlichen Besonnung auf die Hangfacetten markieren somit die ökologisch relevante aktuelle globale Hangstrahlung.

Die entsprechenden Werte sind den Tab.13 - 16 zu entnehmen, eine schematisierte Übersicht bietet dazu Abb.18.

Für das Testgebiet Obergurgl wurde gefunden, daß der maximal erreichbare Anteil der Diffusstrahlung, der außerhalb des durch Sonnenauf- und -untergang begrenzten Sonnentagbogens liegt, ca. 20 cal/cm^2 beträgt. Die entsprechenden Werte für die Versuchsfläche in Haggen betragen 9 cal/cm^2 . Bezogen auf die Globalstrahlungssumme, die eine ebene horizontale Fläche während des Tages erhält, betragen die somit nicht erfaßten Anteile der Himmelsstrahlung lediglich 3 bzw. 1,4 %.

$\begin{smallmatrix} 6^{00} \\ 18^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 6^{30} \\ 17^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 7^{00} \\ 17^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 7^{30} \\ 16^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 8^{00} \\ 16^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 8^{30} \\ 15^{30} \end{smallmatrix}$	WSZ
20	30	40	60	70	80	
20	40	50	60	70	80	
$\begin{smallmatrix} 9^{00} \\ 15^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 9^{30} \\ 14^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 10^{00} \\ 14^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 10^{30} \\ 13^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 11^{00} \\ 13^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 11^{30} \\ 12^{30} \end{smallmatrix}$	12^{00}
90	100	100	100	100	100	100
90	90	100	100	100	100	100

Tab. 11: Mittlerer Tagesgang der Intensität der Himmelsstrahlung (mcal/cm²/min) auf eine horizontale ebene Fläche bei 0/10 Bewölkung in 2000 m Seehöhe um den 20. August. Fallbügelschreiberregistrierung.

$\begin{smallmatrix} 6^{00} \\ 18^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 6^{30} \\ 17^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 7^{00} \\ 17^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 7^{30} \\ 16^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 8^{00} \\ 16^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 8^{30} \\ 15^{30} \end{smallmatrix}$	WSZ
240	370	500	640	750	870	B
240	380	510	630	750	860	
220	350	480	620	745	860	R
195	340	465	608	730	850	
$\begin{smallmatrix} 9^{00} \\ 15^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 9^{30} \\ 14^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 10^{00} \\ 14^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 10^{30} \\ 13^{30} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 11^{00} \\ 13^{00} \end{smallmatrix}$	$\begin{smallmatrix} 11^{30} \\ 12^{30} \end{smallmatrix}$	12^{00}
970	1060	1130	1180	1220	1240	1250
970	1050	1120	1180	1220	1240	1250
970	1055	1120	1175	1217	1240	1250
952	1030	1110	1162	1210	1240	1250

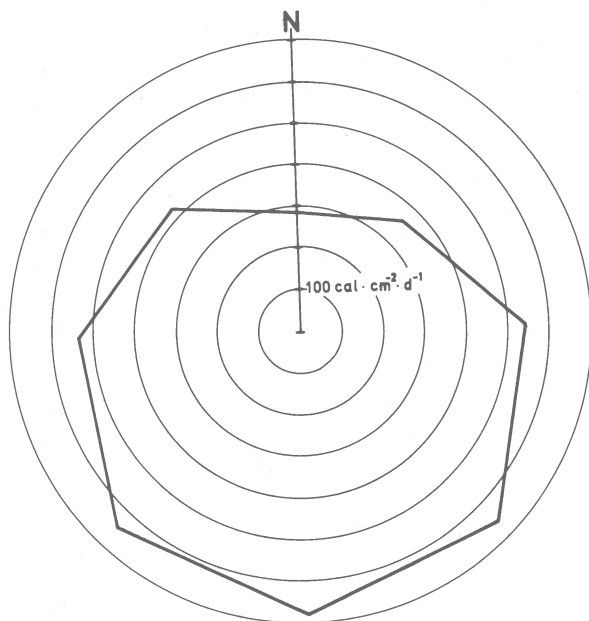
Tab. 12: Mittlerer Tagesgang der Intensität der Globalstrahlung (mcal/cm²/min) auf eine horizontale ebene Fläche bei 0/10 Bewölkung in 2000 m Seehöhe um den 20. August.
 B = Summe aus berechneter Sonnenstrahlung und registrierter Himmelsstrahlung;
 R = Fallbügelschreiberregistrierung.

EXPO- HANGNEIGUNG SITION IN GRADEN		6 ³⁰	6 ⁵⁰	7 ¹⁰	7 ³⁰	7 ⁵⁰	8 ¹⁰	8 ³⁰	8 ⁵⁰	WSZ
W	0 - 2	307	299	289	278	265	250	233	216	
	3 - 5	293	287	279	268	256	243	227	211	
	6 - 10	273	268	262	254	243	231	218	203	
	11 - 15	245	243	239	233	225	216	204	200	
	16 - 20	218	218	213	211	205	198	189	178	
	21 - 25	188	188	188	188	185	180	173	164	
	26 - 30	162	162	162	162	162	159	155	148	
	31 - 35	136	136	136	136	136	136	135	131	
	36 - 45	105	105	105	105	105	105	105	105	
	> 45	88	88	88	88	88	88	88	88	
SW	0 - 2	310	302	292	281	268	252	236	218	
	3 - 5	305	298	289	278	266	252	236	218	
	6 - 10	299	292	284	276	263	250	235	219	
	11 - 15	287	282	277	269	259	247	233	217	
	16 - 20	275	272	268	261	252	242	229	215	
	21 - 25	260	259	257	251	245	236	224	211	
	26 - 30	242	242	242	240	234	228	217	205	
	31 - 35	227	227	227	225	221	217	208	197	
	36 - 45	203	203	203	203	202	199	192	184	
	> 45	187	187	187	187	187	185	180	174	
S	0 - 2	314	306	296	284	270	255	239	220	
	3 - 5	320	312	302	290	276	260	244	225	
	6 - 10	329	321	311	299	285	269	252	233	
	11 - 15	340	331	321	309	295	279	261	241	
	16 - 20	346	338	327	315	301	285	267	248	
	21 - 25	351	343	331	320	306	290	272	252	
	26 - 30	353	345	334	323	309	293	275	254	
	31 - 35	353	345	335	324	310	294	276	256	
	36 - 45	347	340	330	320	306	291	273	254	
	> 45	342	335	326	316	303	288	271	252	
SE	0 - 2	316	307	296	285	271	256	239	220	
	3 - 5	329	319	308	295	281	264	247	227	
	6 - 10	349	338	325	311	295	277	258	238	
	11 - 15	371	358	344	328	310	292	271	249	
	16 - 20	389	375	360	342	323	303	281	257	
	21 - 25	407	391	374	355	335	313	290	265	
	26 - 30	420	404	384	365	344	321	296	271	
	31 - 35	430	413	393	372	350	325	300	274	
	36 - 45	439	420	399	377	354	329	303	275	
	> 45	444	424	403	380	356	330	303	275	

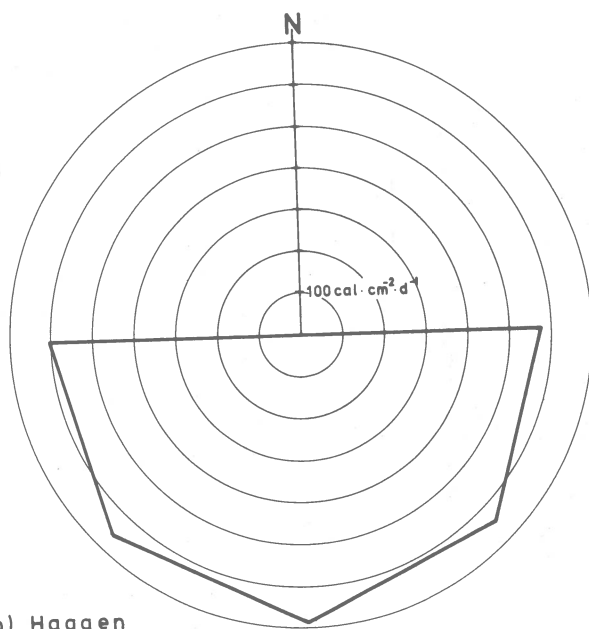
Tab.15: Halbtagesummen der Globalstrahlung (cal/cm²) bei variablem Sonnenaufgang im Testgebiet Haggen.

EXPO- HANGNEIGUNG SITION IN GRADEN		16 ⁰⁰	16 ²⁰	16 ⁴⁰	17 ⁰⁰	17 ²⁰	17 ⁴⁰	18 ⁰⁰	18 ²⁰	18 ⁴⁰	18 ⁵⁰
W	0 - 2	262	277	290	301	311	319	325	329	331	331
	3 - 5	269	284	298	311	322	331	338	343	345	345
	6 - 10	278	295	311	325	338	349	358	365	367	367
	11 - 15	287	307	325	341	356	369	380	389	391	391
	16 - 20	295	316	336	354	371	386	400	411	412	415
	21 - 25	301	324	345	365	384	402	417	430	433	436
	26 - 30	304	328	351	373	394	413	430	445	448	450
	31 - 35	306	331	355	379	401	422	441	458	461	464
	36 - 45	308	330	356	381	405	428	449	469	472	475
	> 45	301	328	355	382	408	432	455	477	480	484
SW	0 - 2	263	277	290	302	311	319	325	329	331	331
	3 - 5	272	287	301	313	323	332	338	342	344	344
	6 - 10	286	302	317	331	343	352	359	364	366	366
	11 - 15	301	319	335	351	364	374	382	388	390	390
	16 - 20	313	333	351	368	382	394	403	409	412	413
	21 - 25	323	344	364	382	398	411	421	428	431	432
	26 - 30	332	354	375	394	410	424	435	444	448	448
	31 - 35	337	360	382	402	420	435	448	457	462	462
	36 - 45	341	366	389	410	429	446	458	468	474	474
	> 45	343	368	392	414	434	452	465	476	481	481
S	0 - 2	262	277	289	300	309	317	323	327	329	
	3 - 5	268	283	295	307	316	324	329	334	336	
	6 - 10	277	291	305	315	324	332	338	342	345	
	11 - 15	286	301	315	326	335	343	349	353	355	
	16 - 20	293	308	321	332	342	350	356	360	363	
	21 - 25	298	313	326	337	346	353	359	364	366	
	26 - 30	301	316	329	339	348	355	361	365	367	
	31 - 35	302	317	330	340	349	356	362	365	367	
	36 - 45	298	313	326	335	343	350	356	360	362	
	> 45	296	310	322	331	339	345	350	353	355	
SE	0 - 2	259	273	286	296	305	313	318	322	323	
	3 - 5	258	271	283	293	301	308	312	315		
	6 - 10	256	268	278	287	294	299	302	304		
	11 - 15	252	263	272	279	284	287	290			
	16 - 20	247	256	264	269	273	275				
	21 - 25	239	247	253	257	259					
	26 - 30	230	237	242	244						
	31 - 35	220	225	228							
	36 - 45	199									
	> 45	186									

Tab.16: Halbtagessummen der Globalstrahlung (cal/cm^2) bei variablem Sonnenuntergang. Testgebiet Haggen.



a) Obergurgl



b) Hagen

Abb. 18: Globalstrahlungsraten insgesamt ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{d}$).