

STANDÖRTLICHE VARIABILITÄT IN MIKROKLIMA UND ENERGIEHAUSHALT ALPINER ZWERGSTRÄUCHER

A. CERNUSCA

Abstract

Microclimate and energy budget of dwarf shrub communities (*Rhododendretum*, *Vaccinium heath*, *Loiseleuria heath*, *Loiseleurietum*) above the timberline in the Central Alps were measured during several years. The vegetation shows different canopy structures (such as growth form and growth height, leaf area development, vertical distribution of the biomass) and different expositions in mountainous terrains. The results show that there are principal differences between the microclimate above the canopy and within it. The microclimate above the canopy is affected primarily by different expositions to solar radiation and wind whereas the microclimate within the plant cover depends mostly on the vegetation structure. The effect of the habitat may annul or even reverse microclimatic gradients caused by the relief. The heat budget of the investigated dwarf shrub communities is influenced mainly by different water supply and by varying exchange resistances of the plant cover.

1. Einleitung

Gebirgsökosysteme sind durch eine besonders große standörtliche Variabilität auf engstem Raum gekennzeichnet. Diese räumliche Heterogenität und Unausgeglichenheit wird durch unterschiedliche orographische und edaphische Bedingungen, unterschiedliche Bestandesstruktur und unterschiedliche anthropogene Beeinflussung hervorgerufen. Durch die Bestandessbildung entsteht ein bestandeseigenes Mikroklima (= *Bioklima*) das sich vom reliefabhängigen Kleinklima (= *Geländeklima*) wesentlich unterscheidet.

Im Folgenden wird anhand ausgewählter Meßergebnisse die standörtliche Variabilität von Mikroklima und Energiehaushalt alpiner Zwerstrauchbestände dargestellt. Diese Untersuchungen wurden im Rahmen des IBP-Projektes „Zwerstrauchheide Patscherkofel“ mit Unterstützung durch den Österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Projekt Nr. 782 durchgeführt.

2. Versuchsgelände und Meßmethodik

Die Messungen erfolgten in der Zwerstrauchheidenstufe auf dem Patscherkofel bei Innsbruck, Tiroler Zentralalpen. Auf dem Patscherkofel befindet sich, knapp über der Waldgrenze, in einer Höhe zwischen 1920 m MH und 1950 m MH der Alpengarten der Universität Innsbruck (nähtere Beschreibung bei GAMS 1937, und PISEK 1964). Seit 1970 werden hier längs einer expositionsbedingten Vegetationsabfolge in einer windgeschützten *Rhododendron*-mulde, an einem etwas stärker windexponierten *Vacciniengang* und an einem stark windbelasteten *Loiseleuria*-Standort inten-

sive bioklimatische Untersuchungen durchgeführt (Abb. 1). Im Versuchsgelände wurden insgesamt 95 Meßfühler installiert, die Meßdatenspeicherung erfolgte über eine automatische Datenerfassungsanlage. Seit 1970 wurden hier insgesamt rund 4 Millionen Einzelmeßwerte erfaßt und ausgewertet. Zur Analyse der vollen Variationsbreite des Ökosystems Zwerstrauchheide wurden ergänzend dazu Messungen mit einer mobilen Datenerfassungsanlage an verschiedenen typischen und extremen Standorten im Zwerstrauchgürtel auf dem Patscherkofel durchgeführt. Bezuglich weiterer Informationen zur verwendeten Meßanordnung bzw. Meßeinrichtung siehe A. CERNUSCA (1973, 1976 b, c) und LARCHER et al. (1973).

3. Ergebnisse

3.1. Biomasseschichtung, Bestandesstruktur und Strahlungsextinktion

In Abb. 2 ist die Schichtung der Biomasse und die Absorption der photosynthetisch aktiven Strahlung (PhAR: 400–700 nm) für die untersuchten Zwerstrauchbestände dargestellt. Außerdem ist der Verlauf des kumulativen Blattflächenindex eingezeichnet. Eine Kausalanalyse der Strahlungsmessungen zeigt, daß zwischen der Strahlungsabschwächung im Bestand und dem Verlauf des kumulativen Blattflächenindex ein enger Zusammenhang besteht. Dieser Zusammenhang läßt sich formalmäßig durch das bekannte Strahlungsextinktionsgesetz ausdrücken. Für die

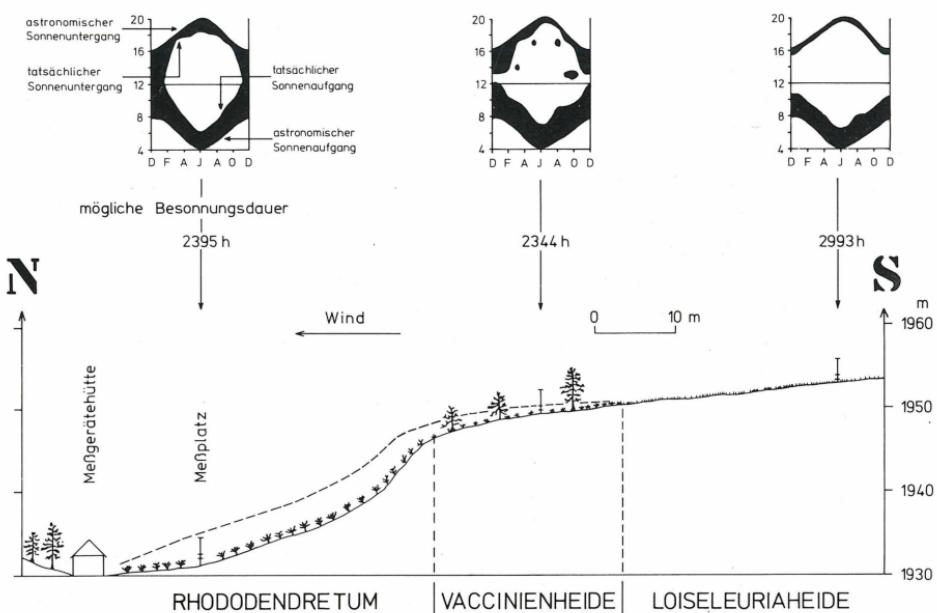


Abb. 1. Anordnung der Mikroklimameßstellen längs einer expositionsbedingten Vegetationsabfolge im Alpengarten der Universität Innsbruck auf dem Patscherkofel. Ganz oben ist für jeden Meßplatz die örtlich mögliche Sonnenscheindauer dargestellt. Die geschwärzte Fläche gibt den Verlust an Sonnenscheindauer durch Horizontüberhöhung wieder.

Zwergstrauchbestände ergibt sich ein durchschnittlicher Extinktionskoeffizient von 0,7 (A. CERNUSCA, 1976 c), also ein Wert wie er auch in Wäldern gemessen wird. Zum Vergleich, in einer Wiese beträgt der Extinktionskoeffizient weniger als 0,5 (vergl. A. CERNUSCA, 1976 a) und bei Pflanzenbeständen mit breiten, abgespreizten Blättern wie z.B. einem Kleefeld oder einer Tabakpflanzung über 1,0 (MONSI & SAEKI, 1953). In den Zwergstrauchbeständen zeigt die Strahlungsextinktion außerdem eine Sonnenhöhenabhängigkeit. Bei tiefstehender Sonne wird die Strahlung stärker absorbiert als bei hochstehender Sonne. Mit dem Strahlungsextinktionsgesetz ist auch der mathematische Zusammenhang zwischen dem Strahlungshaushalt im Bestand und dem Bestandesaufbau bekannt. Über dieses Gesetz kann daher der Strahlungshaushalt im Bestand mathematisch simuliert werden, d.h. aus bekannten Strahlungsverhältnissen über dem Bestand werden die Strahlungsverhältnisse im Bestand ausgerechnet.

So kann man z.B. berechnen, wieviel photosynthetisch aktive Strahlung an einem heiteren Sommertag in den einzelnen Bestandesschichten absorbiert wird. Das Ergebnis derartiger Hochrechnungen zeigt Abb. 3 in Form von Energieflußdiagrammen. Entsprechend der unterschiedlichen Blattflächenverteilung wird die Strahlungsenergie im *Callunabestand* vor allem in mittlerer Bestandeshöhe absorbiert, wogegen im *Vaccinienbestand* 86% in der dicht belaubten oberen Bestandeshälfte absorbiert werden. Auffallend ist, daß im *Loiseleuria*-bestand die PhAR ähnlich gleichmäßig wie in einer Wiese auf alle Bestandesschichten aufgeteilt wird, wogegen im *Rhododendron*-bestand die Strahlungsabsorption wie in einem borealen Mischwald (KAIRIUKŠTIS, 1967) erfolgt. Dabei entsprechen die Kronen der Laubbäume im Mischwald der Rhododendronblattschicht und die Kronen der Nadelbäume in der zweiten Baumschicht der Vaccinienblattschicht.

3.2. Mikroklima und Bestandesklima

Abb. 4 zeigt charakteristische Profile der Temperatur und Windgeschwindigkeit für die drei Zwergstrauchbestände längs der expositionsbedingten Vegetationsabfolge im Alpengarten. Die Windprofile stellen Durchschnittswerte der Windgeschwindigkeit für die Hauptproduktionszeit Juli bis September dar.

10 cm über dem Bestand beträgt die durchschnittliche *Windgeschwindigkeit* am *Loiseleuria*-meßplatz 1 m s^{-1} , am *Vaccinien*-standort 80 cm s^{-1} und in der *Rhododendron*-mulde nur 50 cm s^{-1} . Durch den Bestand wird der Wind abgebremst. Dabei ist die Bremswirkung bis in den dichten, dem Boden ganz anliegenden *Loiseleuria*-bestand stärker als bei dem offenen, relativ hochwüchsigen *Rhododendron*-bestand. So beträgt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit im *Rhododendron*-bestand noch 35 cm s^{-1} , wogegen sie im *Loiseleuria*-bestand nur 15 cm s^{-1} beträgt. Dieses Ergebnis zeigt, daß durch den Bestandeseffekt ein windbedingter Mikroklimagradiant nicht nur ausgeglichen sondern sogar in seiner Richtung umgekehrt wird.

Auch die *Temperaturprofile* zeigen deutlich den Effekt des unterschiedlichen Bestandesaufbaues. Im dichten, flachen *Loiseleuria*-bestand tritt an der Bestandesoberfläche ein steiler Temperaturgradient auf und fast der gesamte Bestand liegt am frühen Nachmittag in einer schmalen Überwärmungszone nahe der Bodenoberfläche. Das Maximum der Bestandestemperatur tritt im *Loiseleuria*-bestand im untersten Bestandesdrittel mit Temperaturen zwischen 30 und 40°C auf. Im *Vaccinien*- und *Rhododendron*-bestand liegt die Bestandestemperatur dagegen an Schönwetter-

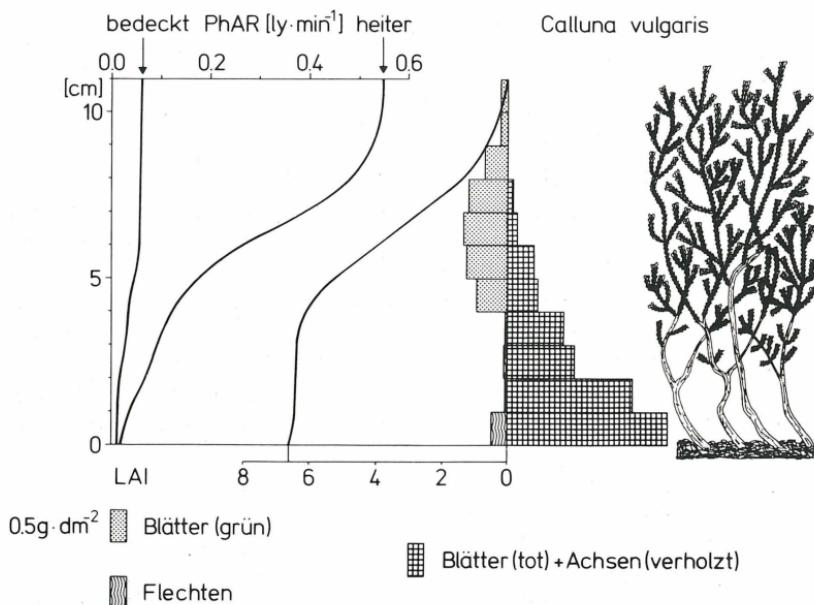
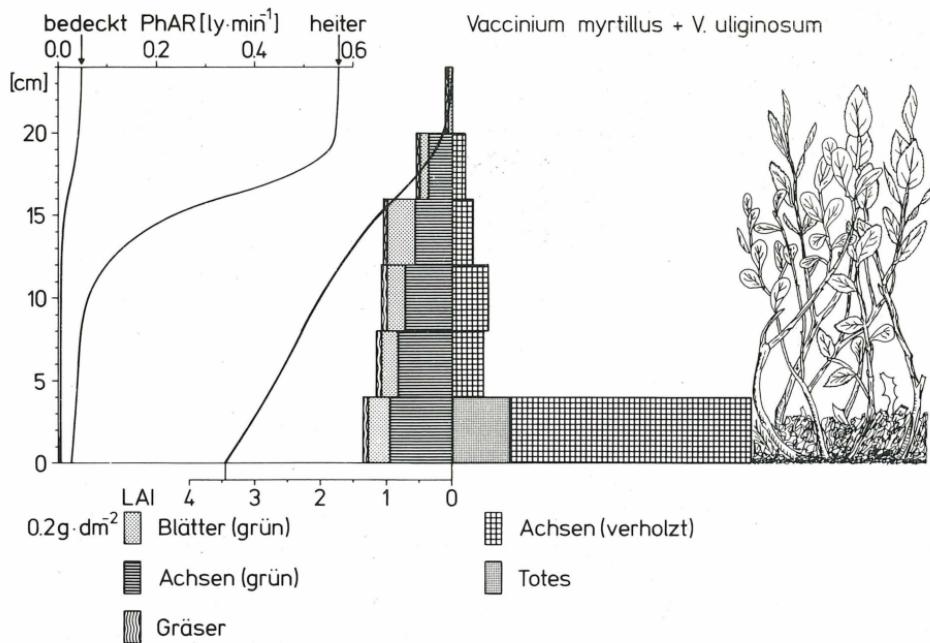
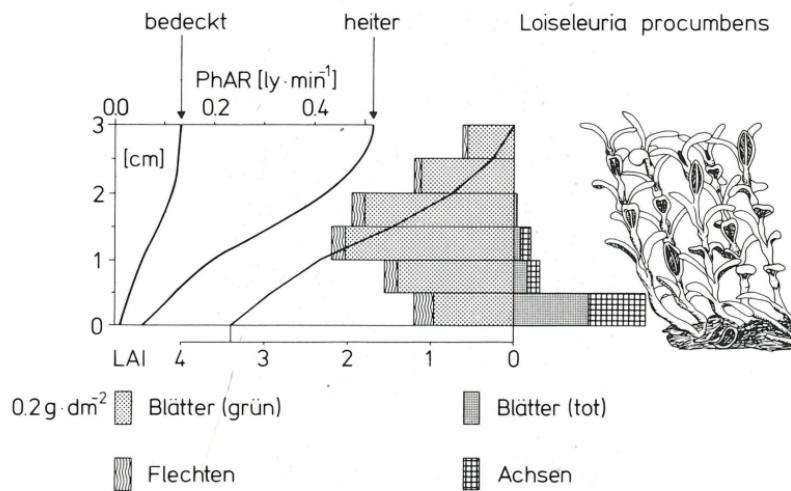
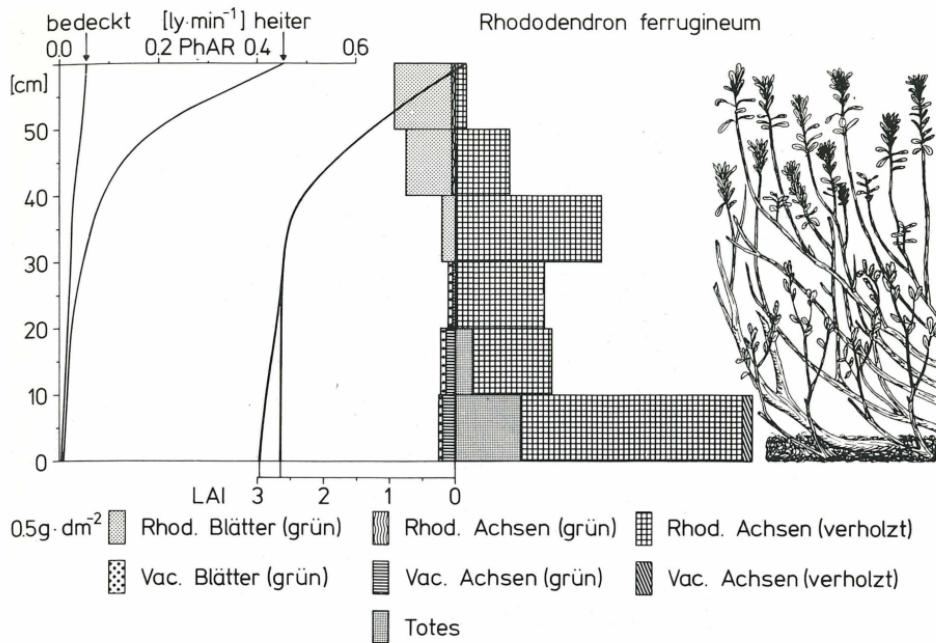


Abb. 2. Biomasseschichtung, kumulativer Blattflächenindex (LAI) und Strahlungsextinktion verschiedener Zwergstrauchbestände.



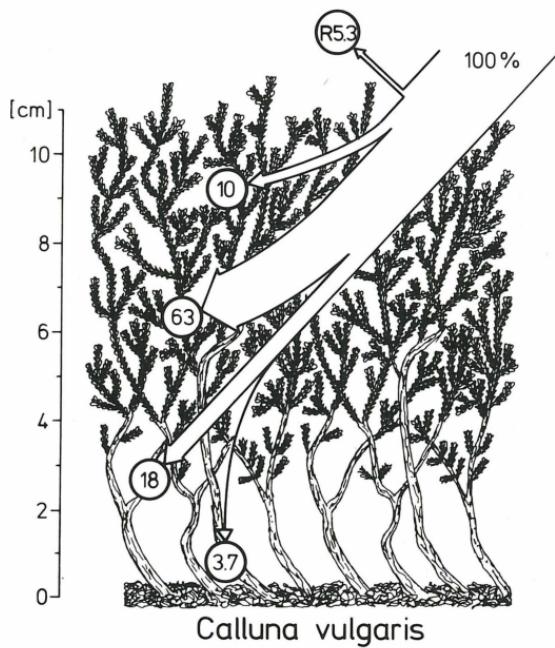
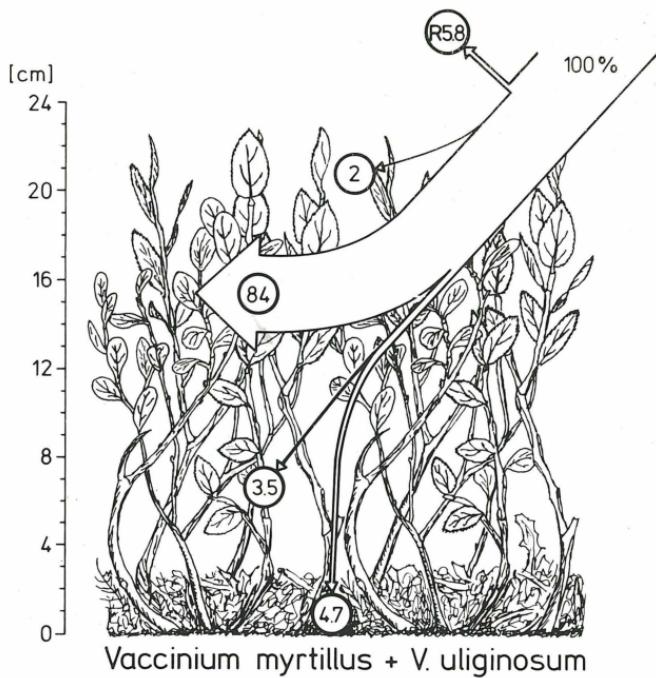
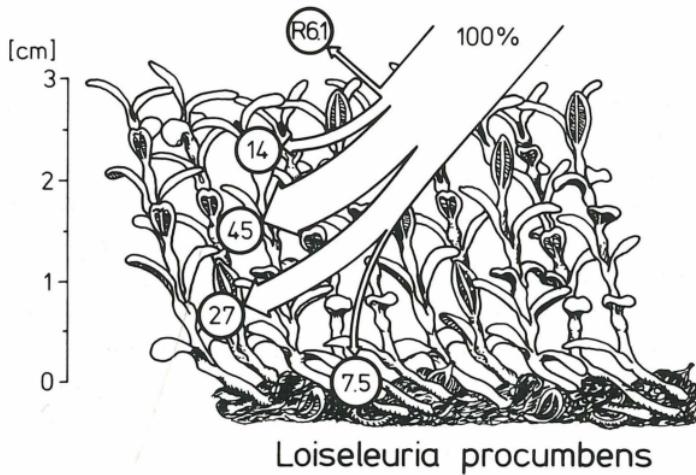
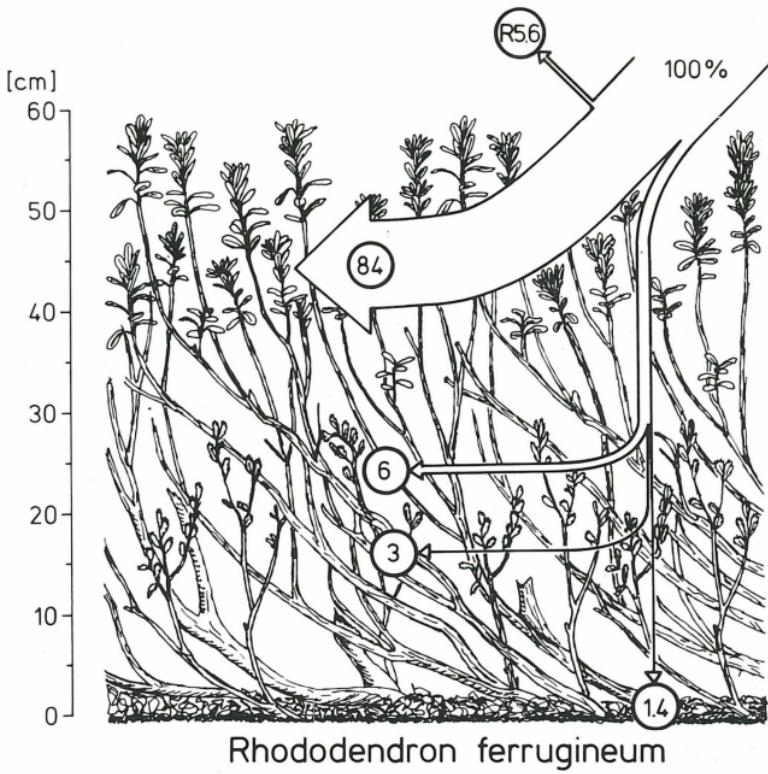


Abb. 3. Absorption photosynthetisch aktiver Strahlung durch die einzelnen Bestandesschichten. 100% einfallende Strahlung entsprechen $0,5 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.



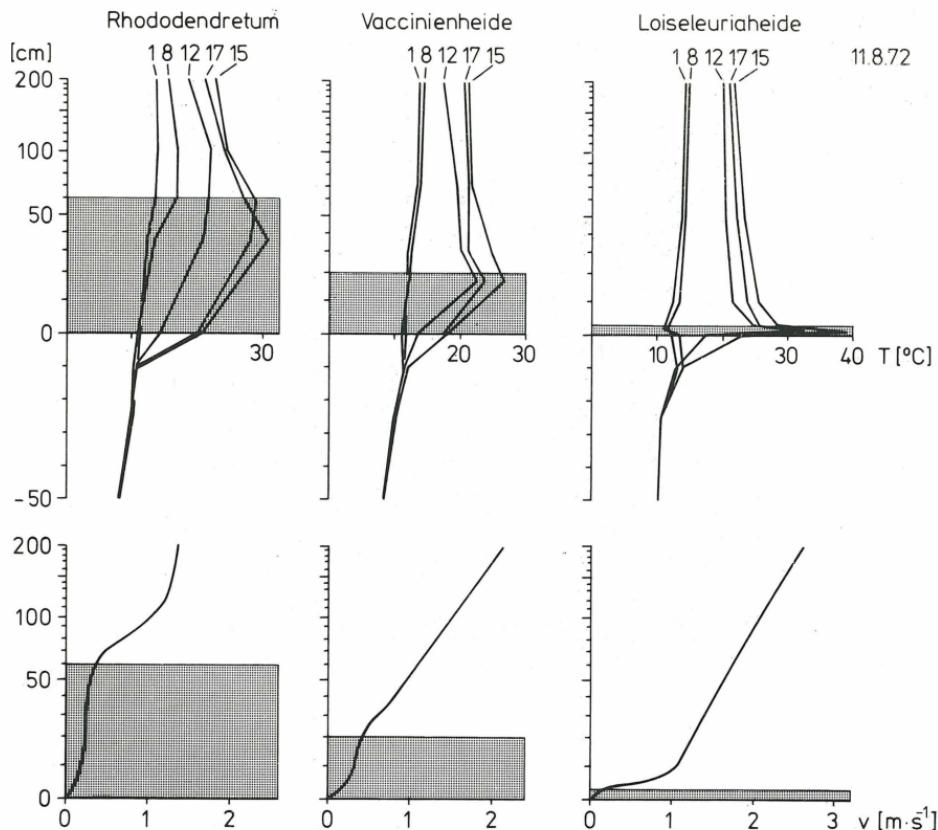


Abb. 4. Profile von Temperatur (oben) (heiterer Tag, 11.8.1972) und durchschnittlicher Windgeschwindigkeit (unten) (Meßperiode 15.7. bis 15.10.1971) an den Meßplätzen im Alpen-garten.

tagen um ca. 10° niedriger als im Loiseleuriabestand. Das Temperaturmaximum tritt hier, ähnlich wie in einem Wald, im obersten Bestandesdrittel auf.

Die *Luftfeuchtigkeit* stellt einen ganz wesentlichen Umweltfaktor für die untersuchten Zwergsträucher dar (vergl. KÖRNER 1975). Auch hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit zeigt sich ein ganz deutlicher Bestandeseffekt. So haben z.B. Messungen während eines Föhnsturmes (Abb. 5) im *Loiseleuria*-bestand eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen 80 und 90% ergeben, während sie außerhalb des Bestandes nur 50% betrug, und das bei einer Windgeschwindigkeit von über 20 m s⁻¹. Im direkt daneben liegenden *Calluna*-bestand war dagegen die Luftfeuchtigkeit nur geringfügig erhöht und in einem *Rhododendron*-bestand (in der Abb. nicht dargestellt) konnte überhaupt kein Unterschied zwischen der Luftfeuchtigkeit im Bestand und außerhalb des Bestandes festgestellt werden.

Aus den Intensivmessungen an den drei unterschiedlich exponierten Zwergstrauchbeständen lassen sich folgende allgemein gültige Gesetzmäßigkeiten von Mikroklima und Bestandesklima ableiten:

Über der Vegetationsschicht wird das *Mikroklima* bei Schönwetter im wesentlichen durch die Exposition bestimmt. Der *Loiseleuristandort* erscheint als windig und kühl, die *Rhododendronmulde* dagegen als windstill und warm. Es ergibt sich ein expositionsbedingter Mikroklimagradient vom relativ milden „*Muldenmikroklima*“ zum rauen „*Windkantenmikroklima*“. Würde man bei Standortanalysen an dieser Stelle aufhören, so würde man ein völlig falsches Bild von den klimatischen Umweltbedingungen in der Zergstrauchheide bekommen. Betrachtet man nämlich das *Bestandesklima*, so kehren sich die Verhältnisse völlig um. *Loiseleuria* vermag durch ihre flache, dichte, dem Boden ganz anliegende Wuchsform selbst an windgefeigten Kanten ein Bestandesklima aufrecht zu erhalten, das wesentlich feuchter, wärmer und windstiller als im *Rhododendron*-bestand ist. Diese Unterschiede zwischen Mikroklima und Bestandesklima wurden bisher in der kausalen Vegetationskunde zu wenig beachtet. Der Bestandeseffekt muß natürlich auch bei mathematischen Modellen zur Simulierung der bioklimatischen Umwelt von Zergstrauchbeständen berücksichtigt werden. In unseren Modellen wird dieser unterschiedliche Bestandeseffekt durch unterschiedliche aerodynamische Austauschwiderstände in Rechnung gestellt.

3.3. Wärmehaushalt

In Abb. 6 ist der Strahlungs- und Wärmehaushalt für Mikrostandorte in einem *Loiseleurietum cetrariosum* (PALLMANN & HAFFTER, 1933) (IBP-Probefläche „*Loiseleurietum 2175 m MH*“) am Gipfel des Patscherkofel dargestellt. Diese Mikrostandorte liegen alle nicht weiter als 1 m auseinander.

Die obere Reihe der Kreise zeigt die einzelnen Komponenten des Strahlungshaushaltes und durch die unteren Kreise wird die prozentuelle Aufteilung der absorbierten Strahlungsenergie (= Strahlungsbilanz) auf Evapotranspiration (V), Wärmekonvektion (L) und Bodenwärmestrom (B) dargestellt. Hinsichtlich des Strahlungs-

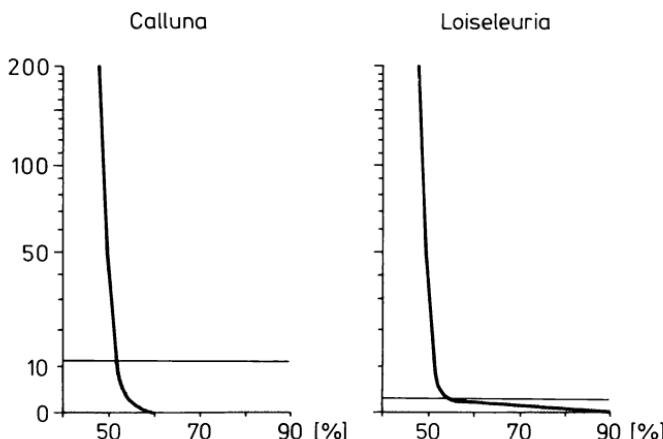


Abb. 5. Profile der relativen Luftfeuchtigkeit während eines Föhnsturmes mit einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 20 m s^{-1} .

Mikrostandorte im Loiseleurietum 2175 m

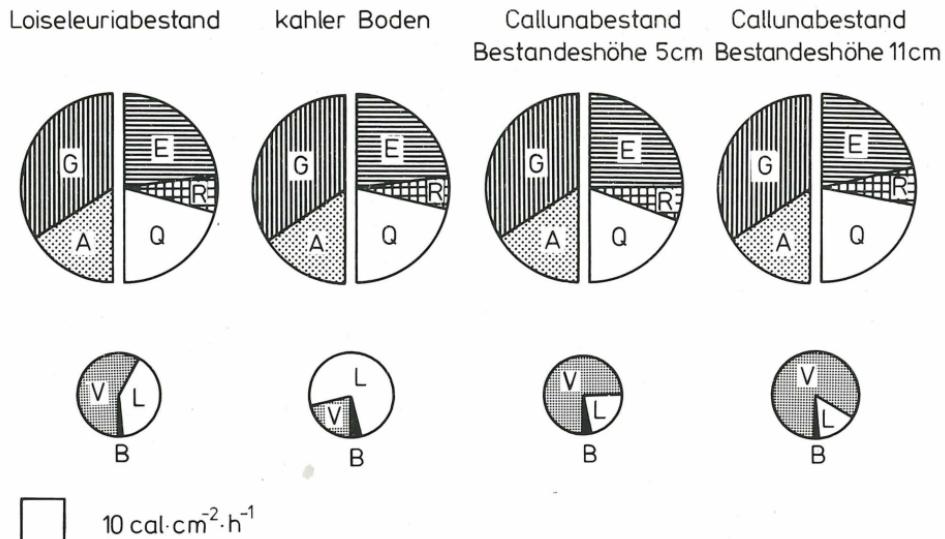


Abb. 6. Strahlungs- und Wärmehaushalt von Mikrostandorten im *Loiseleurietum*, Mittelwerte von Juli und August 1974 (summiert von 8.00 bis 18.00). Oberer linker Halbkreis: Die auf die Oberfläche des Standortes einfallenden Strahlungsströme: G Globalstrahlung, A langwellige Gegenstrahlung der Atmosphäre. Oberer rechter Halbkreis: Die von der Oberfläche des Standortes ausgehenden Strahlungsströme und Strahlungsbilanz: R reflektierte Globalstrahlung, E langwellige Temperaturstrahlung des Bestandes, Q Strahlungsbilanz. Unterer Kreis: Energieumsatz (Wärmehaushalt): L Energieumsatz in der Atmosphäre (Wärmekonvektion), V Energieumsatz durch Evapotranspiration und Kondensation, B Bodenwärmestrom.

haushaltes bestehen zwischen den Mikrostandorten nur geringfügige Unterschiede, wogegen der Wärmehaushalt eine durch den Bestandeseffekt hervorgerufene Heterogenität auf engstem Raum zeigt. Die *Callunabestände* verdunsten besonders viel Wasser, sie verhalten sich hinsichtlich des Wärmehaushaltes wie eine gut mit Wasser versorgte Wiese. Der weniger transpirierende *Loiseleuria*-bestand verhält sich wie ein Wald und die vegetationsfreie *Barstelle* wie ein trockenes Grasland.

Mehrjährige Wärmehaushaltsuntersuchungen im Zergstrauchgürtel auf dem Paterskofel haben ergeben, daß der Wärmehaushalt der Zergstrauchbestände über der Waldgrenze hauptsächlich durch Unterschiede im Wasserhaushalt (unterschiedlich langes und unterschiedlich starkes Öffnen der Spaltöffnungen der Blätter) und durch unterschiedliche Bestandes austauschwiderstände beeinflußt wird. Die Austauschwiderstände für Wasserdampf, Wärmekonvektion und CO₂ sind umso größer, je geschlossener der Bestandesaufbau ist: Gräser, wie z.B. *Nardus stricta* L. und hochwüchsige Zergsträucher, wie z.B. *Rhododendron ferrugineum* L. sind bessere konvektive Wärmeaustauscher als flache, dem Boden ganz anliegende Pflanzenbestände, wie z.B. *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv. Den größten Austauschwiderstand weisen vegetationsfreie Stellen auf, wo eine oberflächlich angetrocknete Bodenschicht als Isolationsschicht wirkt (A. CERNUSCA, 1976 c).

3.4. Energieumsätze durch Photosynthese und Respiration

Der Energieumsatz durch Photosynthese und Respiration wurde auf Grund von produktionsökologischen Messungen von SCHMIDT (1974), HUBER (1975) und GRABHERR (1974) abgeschätzt. Damit kann für die *Vaccinienheide*, die *Loiseleuriaheide* und das *Loiseleurietum* der gesamte Energiehaushalt in Form eines Input-Output-Modells dargestellt werden (Abb. 7).

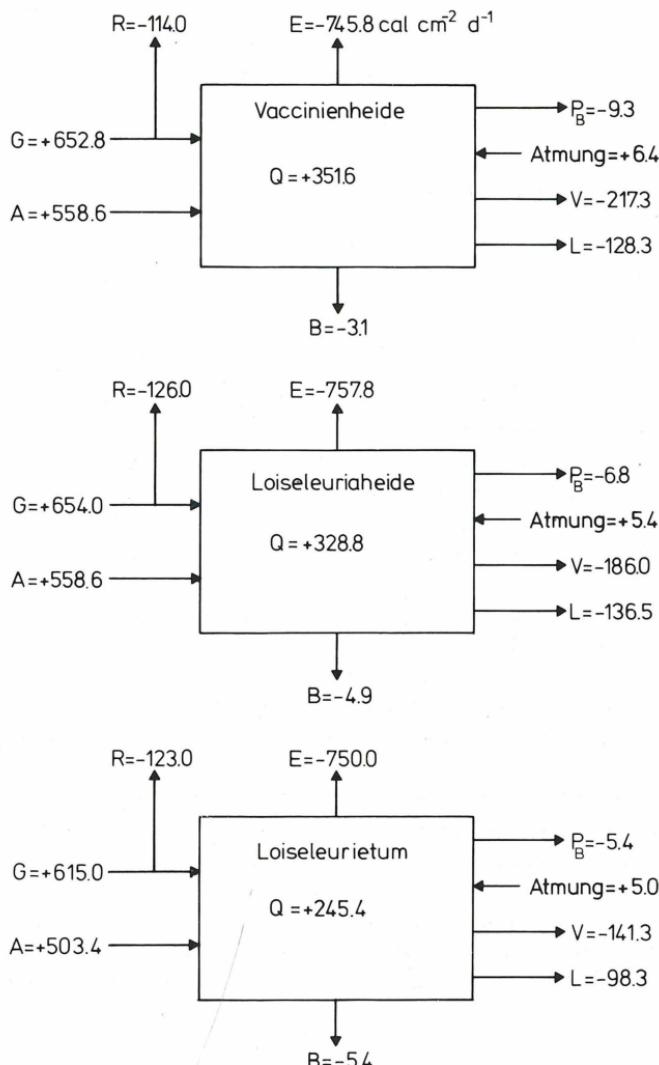


Abb. 7. Input-Output-Modelle des gesamten Energiehaushaltes an einem heiteren Julitag für verschiedene Zwergsrauchbestände auf dem Patscherkofel. *Loiseleuria-* und *Vaccinienheide*: 15.7.1972, *Loiseleurietum*: 14.7.1974, P_B = Bruttopräproduktion, weitere Abkürzungen wie Abb. 6.

In diesen Beständen werden an einem heiteren Julitag von der einfallenden Globalstrahlung durch die Bruttoprimärproduktion (P_B) nur 0,9% (*Loiseleurietum*) bis 1,4% (*Vaccinienheide*) in chemische Energie umgewandelt. Die in der Bruttoprimärproduktion (P_B) festgelegte Energie stellt die Antriebsenergie für sämtliche Stoffwechselvorgänge im Ökosystem Zwergstrauchheide dar. Von der Bruttoprimärproduktion werden im Laufe des Julitages 5,0 bis 6,4 cal cm⁻² d⁻¹ für Stoffwechselvorgänge der Pflanzen verbraucht (veratmet) und als Wärme an die Bestandesluft und den Boden abgegeben. Die Differenz aus Bruttoproduktion und Atmung ergibt die Nettoproduktion, die zum Aufbau von Pflanzenbiomasse dient und schließlich in Richtung der Lebensfresser- bzw. Zersetzungskette fließt. Längs der Nahrungskette wird auch diese Energie durch die Stoffwechselvorgänge der heterotrophen Lebewesen schrittweise in Wärme umgewandelt.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerung

Die Ergebnisse zeigen, daß zwischen dem Mikroklima über der Vegetationsschicht (*Geländeklima*) und dem Mikroklima im Bestand (*Bestandesklima*) grundsätzliche Unterschiede bestehen. Das Geländeklima wird hauptsächlich durch die unterschiedliche Exposition zur Sonnenstrahlung und zum Wind beeinflußt, wogegen das Bestandesklima vor allem vom Bestandesaufbau abhängt. Je dichter und geschlossener der Bestand ist, umso mehr weicht das Bestandesklima vom Mikroklima über dem Bestand ab. Dabei kann der Bestandeseffekt reliefbedingte Mikroklimagradienzen aufheben und sogar umkehren. Der Wärmehaushalt der untersuchten Zwergstrauchbestände wird hauptsächlich durch unterschiedliche Wasserversorgung und durch unterschiedliche Bestandesaustauschwiderstände beeinflußt. Die Austauschwiderstände für Wasserdampf, Wärmeleitung und CO₂ sind umso größer, je geschlossener der Bestandesaufbau ist.

Die Zwergstrauchheide auf dem Patscherkofel stellt ein reifes, protektives Ökosystem dar (HUBER 1975), das bei einem relativ geringen Energiedurchsatz eine stabile Struktur und Funktion in einer lebensfeindlichen Umwelt aufrecht erhalten kann. In der Energiesprache ausgedrückt handelt es sich um ein Ökosystem, das ein hohes Negentropie-Niveau stabilisieren kann, und das trotz eines sehr hohen Unordnungsgrades in seiner Umgebung.

Wir müssen uns aber auch darüber im Klaren sein, daß dieses Ökosystem bei seinem geringen Energiedurchsatz nur schwer in der Lage ist, zusätzliche, vom Menschen gesetzte Umweltbelastungen ohne tiefgreifende Veränderungen zu verkraften. Die Untersuchung der wichtigen Frage von Belastung und Belastbarkeit der Zwergstrauchheide durch die Auswirkungen des modernen Massentourismus in diesem für ganz Mitteleuropa wichtigen Erholungsgebiet über der Waldgrenze wird die Aufgabe weiterer Untersuchungen im Rahmen des österr. MAB-Programmes sein.

LITERATUR

- CERNUSCA, A. (1973): Einsatz mobiler Meßeinrichtungen in der Ökosystemforschung. In: H. Ellenberg (ed.), Ökosystemforschung, 195–201, Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1973.
- CERNUSCA, A. (1976 a): Energieumsatz in den einzelnen Bestandesschichten einer Wiese. *Oecologia* 12 (im Druck).
- CERNUSCA, A. (1976 b): Energie- und Wasserhaushalt eines alpinen Zwergstrauchbestandes während einer Föhnperiode. *Arch. f. Met. Geoph. Biokl. B* (im Druck).
- CERNUSCA, A. (1976 c): Bestandesstruktur, Bioklima und Energiehaushalt von alpinen Zwergstrauchbeständen. *Oecol. Plant.* (im Druck).
- GAMS, H. (1937): Der Patscherkofel, seine Naturschutzgebiete und sein Alpengarten. *Jb. Verein z. Schutz Alpenpfl. u. Tiere* 9: 7–21.
- GRABHERR, G. (1974): Beiträge zur Ökophysiologie von *Loiseleuria procumbens* (L.) Desv. Dissertation, Inst. f. Allg. Botanik, Innsbruck 1974.
- HUBER, F. (1975): Respiratorischer Kohlenstoffverbrauch alpiner Zwergsträucher. Verh. Ges. Ökologie, Wien 1975, in diesem Band.
- KÖRNER, Ch. (1975): Wasserhaushalt und Spaltenverhalten alpiner Zwergsträucher. Verh. Ges. Ökologie, Wien 1975, in diesem Band.
- KAIRIUKŠTIS, L.A. (1967): Racionalnoe ispolzovanie solnečnoi energii kak faktor povyšenija produktivnosti listvenno-elyovych nasaždenij (Rationelle Ausnützung der Sonneneinstrahlung als produktionssteigernder Faktor in Tannenmischwäldern). In: JU. L. CELNIKER, Svetovoi režim fotosintez i produktivnost lesa (Lichtklima, Photosynthese und Produktivität in Wäldern), 151–166. Nauka, Moskau 1967.
- LARCHER, W., CERNUSCA, A. & SCHMIDT, L. (1973): Stoffproduktion und Energiebilanz in Zwergstrauchbeständen auf dem Patscherkofel bei Innsbruck. In: H. Ellenberg (ed.): Ökosystemforschung, 175–194, Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- MONSI, M. & SAEKI, T. (1953): Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. J. Bot.* 14: 22–52.
- PALLMANN, H. & HAFFTER, P. (1933): Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin mit besonderer Berücksichtigung der Zwergstrauchgesellschaften der Ordnung Rhodoreto-Vaccinietalia. *Ber. Schweiz. Botan. Ges.* 42: 357–466.
- PISEK, A. (1964): Der Alpengarten auf dem Patscherkofel. *Schlerm-Schriften (Innsbruck)* 231, 245 S.
- SCHMIDT, L. (1974): Stoffproduktion und Energiehaushalt von alpinen Zwergstrauchgesellschaften. Dissertation, Inst. f. Allg. Botanik, Innsbruck.

Anschrift des Verfassers:

Dr. A. CERNUSCA, Institut für Allgemeine Botanik, Sternwartestraße 15,
A-6020 Innsbruck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: [5_1976](#)

Autor(en)/Author(s): Cernusca Alexander

Artikel/Article: [Standörtliche Variabilität in Mikroklima und Energiehaushalt alpiner Zergstrauchbestände 9-21](#)