

DIE STRAHLUNGSBILANZEN ZWEIER HOCHALPINER STATIONEN
WÄHREND DER VEGETATIONSPERIODE

Michael Staudinger
Universität Innsbruck
Innsbruck, Austria

Abstract In summer 1976 the radiation balance of two stations in 1980 and 2580 m a.s.l. in the Ötztal Alps was measured during the vegetation period. Radiation conditions are strongly modified by temporary snow covers. The comparison of stations in different altitude, shows the influence of disturbances above and below the snow line. The height interval of 600 meters permits the determination of the vertical gradients of the radiation characteristics.

Zusammenfassung Im Sommer 1976 wurde die Strahlungsbilanz zweier Stationen auf 1980 und 2580 m in den Ötztaler Alpen, während der Vegetationsperiode gemessen. Die Strahlungsverhältnisse im Hochgebirge werden im Sommer durch vorübergehende Schneedecken stark modifiziert. Der Vergleich beider Stationen zeigt ober- und unterhalb der Schneegrenze den Einfluß von Störungen auf kurz- und langwellige Bilanz. Die Höhendifferenz von 600 m erlaubt eine Bestimmung der Gradienten der einzelnen Strahlungsgrößen.

1. EINLEITUNG

Im Rahmen des MAB (Man and Biosphere) - Projektes No.6 wurden an zwei Stationen in der Nähe Obergurgls, in einer inneralpinen Tallage im hinteren Ötztal, Messungen zur Bestimmung der Komponenten des Wärmehaushalts in der Zeit vom 1.7. bis 30.9.1976 durchgeführt.

Die Station "Hohe Mut" liegt auf einem ca. 100 m breiten Bergrücken 300 über zwei Nord-Süd verlaufenden Gletschertälern auf 2580 m Seehöhe, auf einer schwach ausgeprägten Kuppe. Die Horizontüberhöhung ist gegen Osten am größten und beträgt dort ca. 10°.

600 m tiefer und 2,5 km talaufwärts an der Einmündung des oben erwähnten Gletschertales in das Gurgler Tal, befindet sich auf der nach Nordosten exponierten Talseite die Station "Wiese" (1980 m) auf einem ca. 10° geneigten Hang. Die Standorte der beiden Stationen waren durch die gleichzeitige Verwendung der gewonnenen Daten für Projekte der Vegetationsanalyse, Mikrobiologie und Bodenkunde bestimmt.

2. Meßmethoden

Zur Messung der Strahlungshaushaltsgrößen wurden auf beiden Stationen Sternpyranometer und Pyrradiometer der Fa. Schenk, Wien, verwendet. Die Registrierung erfolgte durch einen kompensierten Fallbügelschreiber derselben Firma. Eichungen mit einem Linke-Feußner Panzeraktinometer der Fa. Kipp & Zonen, Delft, die teils in Innsbruck, teils an den Stationen vorgenommen wurden, zeigten einander überlagernde, leichte Abhängigkeiten von Sonnenhöhe, Alterung und Temperatur, die sich in der Summe auf 1 bis 2% addierten, im einzelnen aber kaum zu trennen waren. 5 ganze oder teilweise wolkenlose Tage im August und 3 im September, ermöglichten insgesamt 60 Feldeichungen durch Abschattung. Die Sterne befinden sich bei rascher Intensitätsänderung der Strahlung erst nach 4 bis 5 Minuten wieder in thermischem Gleichgewicht (Rott 1974), sodaß sowohl

direkter als auch diffuser Anteil während der ca. 10 Minuten dauernden Eichung konstant bleiben müssen. Aus diesem Grund waren die zahlreichen Schönwettertage mit Quellbewölkung im Juli für Eichungen unbrauchbar. Eine weitere mögliche Fehlerquelle entsteht auch durch die manuelle Auswertung der alle 2 Minuten erfolgten Registrierung in Stundenmitteln. Vor allem bei geringen absoluten Beträgen kann der relative Fehler bis in Prozentbereiche wachsen. Bei stark wechselnder Intensität, z.B. Fractocumulus-Bewölkung in Sonnennähe, wurden die Punkte einzeln ausgezählt, in der Annahme, daß positive und negative Abweichungen während der 2 Minuten Intervalle einander ausglich.

Der Boden unter der Strahlungsregistrierung der Station Wiese erhält durch seine ca. 5° geneigte und nach NNW exponierte Lage je nach Sonnenstand größere oder geringere Energiegewinne als die horizontale Empfängerfläche der Meßgeräte. Zur genauen Bestimmung dieses Unterschieds wurde für alle Studien der tatsächliche Einfallswinkel θ der direkten Sonnenstrahlung berechnet. Bezeichnet λ die Neigung des Bodens, h die Sonnenhöhe, $\delta\alpha$ die Differenz zwischen Sonnenazimut α und Expositionswinkel, so ergibt sich θ aus der Beziehung

$$\sin \theta = \sin h \cos \lambda + \cos h \sin \lambda \cos \delta\alpha \quad (1)$$

α und h aus den Gleichungen

$$\sin \alpha = \cos \delta \sin \tau / \cos h \quad (2)$$

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \tau \quad (3)$$

in denen δ die Deklination der Sonne, τ den Stundenwinkel und ϕ die geographische Breite bedeuten.

Der Strahlungsgewinn oder-Verlust einer geneigten Fläche ändert sich aber nicht nur mit den berechenbaren geometrischen Größen, sondern auch mit dem Anteil der diffusen Strahlung D. Dieser wurde aus den Strahlungsregistrierungen und den stündlichen Bewölkungsbeobachtungen abgeschätzt (Dirnhirn, 1951). So ergibt sich durch den Tagesgang der Bewölkung mit einem Maximum am späten Nachmittag keineswegs eine symmetrische Verteilung der Gewinne zu den Stunden, in denen Sonnenazimut und Expositionswinkel identisch sind. Die gemessene Globalstrahlung GL wird zu:

$$GL' = (1-D) GL \sin \theta / \sin h + D GL \quad (4)$$

Der Unterschied beträgt in der Monatssumme etwa 3%, an wolkenlosen Tagen bis zu 6%.

Im Falle der isotropen, langwelligen Strahlungsflüsse ändert sich die Bestrahlung mit dem cos des Neigungswinkels der hier annähernd gleich eins bleibt (Kondratyev, 1969).

3. Witterungsübersicht

Das kräftige Hoch über Mitteleuropa in der ersten Juliwoche mit sommerlichem Schönwetter und Maximum der Globalstrahlung 3.9 MJ/m²h weicht einer etwas flacheren Druckverteilung in der Zeit vom 6. bis zum 14. Juli 1976 mit Gewittern und Regenschauern. Ein neues Hochdruckgebiet bleibt vom 14.7.76 bis 21.7.76 bei südlicher Höhenströmung

erhalten und trägt zum übernormalen Julimittel der Temperatur bei. Der Übergang zu einer feuchtkühlen N-W Strömung am 22.7. führte zu einem starken Temperaturrückgang und Schneefällen an beiden Stationen. Erst am 29.7. folgte der nächste Strahlungstag mit Quellbewölkung und hohen Tagessummen der Globalstrahlung. Im August entwickelten sich nur selten stabile Schönwettertage, da an der Südostflanke einer von den Azoren bis Skandinavien reichenden Antizyklone über längere Zeiträume kühle und feuchte Luftmassen abgeschnitten waren, die stratiforme Bewölkung, unbeständiges und kühles Wetter, aber nur geringe Niederschläge mit sich brachten. Die negative langwellige Bilanz sank in diesem Zeitraum auf ein Viertel der Werte der Schönwettertage. Erst am 22.8.1976 gewann die Hochdruckzone im Norden verstärkten Einfluß und bewirkte eine Folge sonniger Tage mit konvektiver Bewölkung und hohen Werten der Strahlungsbilanz. In den letzten Augusttagen fiel der Großteil des Monatsniederschlags, als ein über Südengland liegender Kaltlufttropfen über die Alpen hinweg nach SE gesteuert wurde. Der nachfolgende Kaltluftschub aus NW brachte bei stürmischen Winden einen empfindlichen Temperaturrückgang. In der zweiten Septemberwoche wanderte das über dem Atlantik liegende Hoch wieder zum Kontinent und brachte in der Zeit vom 6. bis 9.9. die höchsten Tagessummen der Globalstrahlung im September. Der höchste Wert der Strahlungsbilanz wurde auf der Station Mut jedoch erst am 9.9. erreicht, als die bereits seit Anfang September bestehende Schneedecke wieder weggeschmolzen war. Am 10.9. gelangten die Störungen eines vor den Britischen Inseln liegenden Tiefs bis in den Alpenraum und brachten erneut Schneefälle, diesmal auch für die tieferliegende Station Wiese. Dort blieb er zwar nur bis zum 12.9. liegen, die Station Mut lag jedoch bis zum 27.9. unter einer für die Jahreszeit zu frühen Schneedecke. Deshalb wurde auf der Hohen Mut trotz der Schönwetterperiode vom 20. bis 26.9. kaum ein Drittel der Strahlungsbilanzsumme des August bei 97% der Globalstrahlungssumme erreicht. Am 26.9.76 begann bei verstärkter Südströmung der Abbau des Hochs über Mitteleuropa und instabil geschichtete Luftmassen bewirkten sehr intensive Niederschläge an der Alpensüdseite und nur wenig abgeschwächt am Alpenhauptkamm. Auf Grund der andauernden Südströmung sank das Temperaturniveau jedoch nur wenig, wodurch der Boden auf beiden Stationen bis Monatsende schneefrei blieb. Eine weitere Eigenheit der über den Hauptkamm greifenden Störungen aus Süden und der damit verbundenen Bewölkung sind die hohen Werte der Gegenstrahlung, die denen des Hochsommers gleichkommen.

4. Monatssummen der einzelnen Komponenten

Tab.1 zeigt die Monatssummen der einzelnen Komponenten an beiden Stationen. Größten Einfluß auf kurzweilige und Gesamtbilanz hat die Andauer einer Schneedecke nach einem Störungsdurchgang durch die damit verbundene Albedoänderung. Dies war auf der Station Mut im Juli an 7, im August an keinem und im September an 23 Tagen, an der Station Wiese hingegen nur an 2 Tagen im Juli und an 7 Tagen im September der Fall. Im Mittel der ca. 90 schneefreien Tage eines Jahres, auf die der Vegetationsvorgang in der Höhe der Station Mut eingeschränkt ist, erhält der Boden 2.1 MJ/m² pro Tag mehr Globalstrahlung als die 600 m tiefer liegende Station Wiese. Daß diese Größe über dem von Sauberer beobachteten Gradient von 200 KJ/m² d · 100 m liegt (Sauberer, 1955) ist durch die größere Horizontabschirmung der unteren Station bedingt. Abb.1 zeigt den mittleren Tagesgang der Gesamtbilanz beider Stationen in den Monaten August und September. Im August ist um 11^h und 15^h die Gesamtbilanz auf beiden Stationen gleich hoch, da in diesen Stunden auf Grund der Bewölkungsverhältnisse

Tab.1: Monatssummen der Strahlungsflüsse auf den Stationen Mut (M) und Wiese (W)

		Globalstrahlung					
		Jul i	August	September			
		cal/cm ²	MJ/m ²				
M	14796	620	12167	510	11394	477	
W	13209	553	11184	469	9996	419	
Wiese auf die geneigte Fläche		12942	542	10940	458	9666	405
Albedo							
M	36.2 ⁺		23.1 ⁺		65.7 ⁺		
W	25.6 ⁺		21.4		35.9 ⁺		
Kurzweilige Bilanz							
M	10338	433	9424	395	3801	159	
W	9718	407	8575	359	6309	264	
Atmosphärische Gegenstrahlung							
M	18746	785	18355	769	16764	702.4	
W	19678	824	19183	804	17288	724.4	
Emission d. Bodens							
M	22410	939	21734	911	18828	789	
W	22936	961	22478	942	20703	867	
Strahlungstemperatur d. Oberfläche							
M	6.8		4.8		-2.7		
W	8.6		7.2		3.7		
Langwellige Bilanz							
M	-3667	154	-3379	-142	-2064	-86	
W	-3261	137	-3295	-138	-3459	-145	
Gesamtbilanz							
M	6671	279	6054	254	1737	73	
W	6457	271	5276	221	2850	1194	

⁺) teilweise schneebedeckt

die Globalstrahlung auf beiden Stationen gleich groß ist. In den Mittagsstunden liegen die Werte der Gesamtbilanz der Bergstation um 160 kJ/m²h über denen der Talstation. Die Schneedecke im September bewirkt sowohl die geringeren Verluste durch die langwellige Bilanz (Abb.2) als auch eine wesentlich kleinere Gesamtbilanz auf Grund der auf ein Drittel verminderten kurzweiligen Bilanz.

Die Monatssummen der Bodenemission (σT_0^4) auf der Talstation in den Monaten Juli und August sind

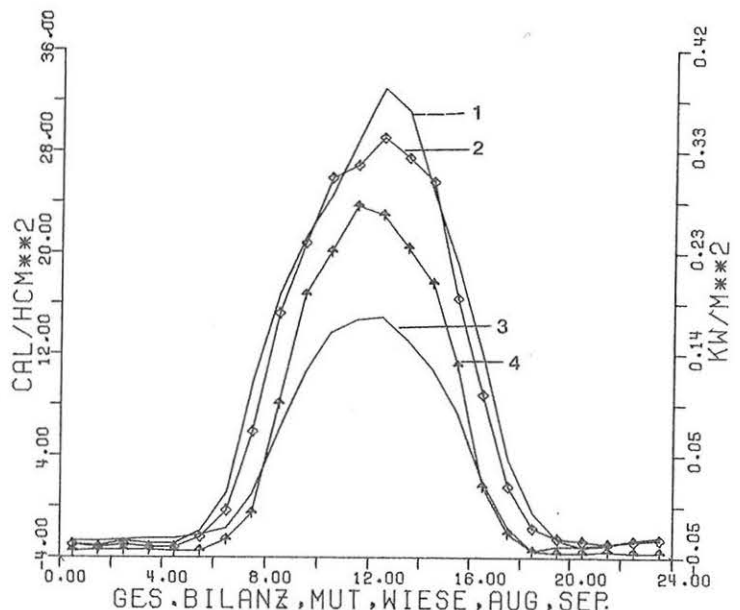


Abb.1: 1 Mut, August; 2 Wiese August; 3 Mut Sept. 4 Wiese September

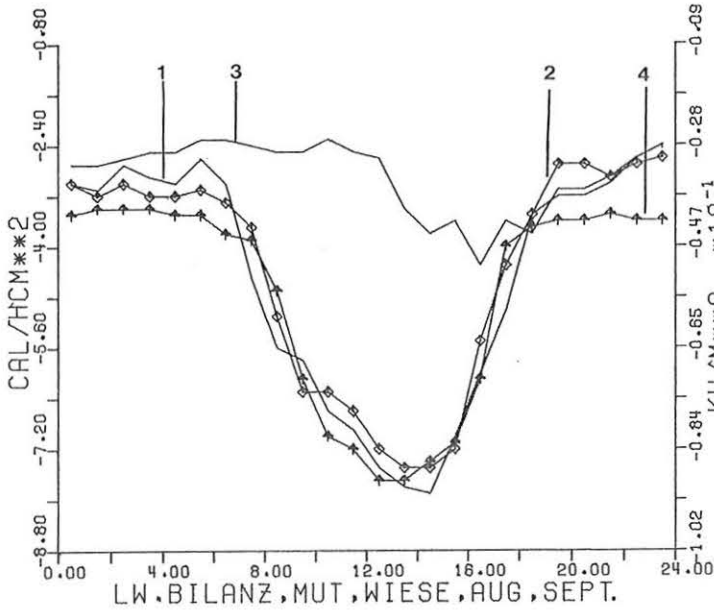


Abb.2: 1 Mut Aug.; 2 Wiese Aug.; 3 Mut Sept.; 4 Wiese Sept.

um 2 bis 3% höher als auf der Station Mut, da die Zahl der schneebedeckten Tage geringer ist. Die Maxima der Oberflächentemperatur der Station Mut liegen an Tagen ohne Schneedecke 4-5° über denen der Station Wiese, die Minima 3-4° darunter. Ursache dafür war in erster Linie die unterschiedliche Vegetation. Auf der Station Wiese stand das Gras 10-15 cm hoch, die Station Mut hingegen ist nur von einer schütterten Grasheide bedeckt. In geringerem Maße war dafür auch die größere Amplitude der Globalstrahlung auf der Station Mut verantwortlich. Die Tagesschwankung der Oberflächentemperatur nahm auf der Station Wiese an Schönetertagen um 4° zu, als Anfang August das 20 cm hohe Gras abgemäht wurde.

Die im ganzen Zeitraum etwas weniger negative Summe der Bodenemission an der Station Mut wird aufgewogen durch die Abnahme der atmosphärischen Gegenstrahlung mit der Höhe, sodaß letztlich die langwellige Bilanz an der Bergstation stärker negativ wird. In klaren Nächten betrug das Minimum atmosphärischer Gegenstrahlung auf der Station Mut im Juli 220 W/m², im August 209 W/m² und im September 198 W/m². Zur gleichen Zeit sind die Werte auf der Station Wiese 5-6% höher. Die Tagesschwankung

Tab. 2: Gradienten der Strahlungsflüsse

	Juli	August	September
	cal/cm ² 100 m d	bzw.	kJ/m ² 100 m d
Globalstrahlung			
	8.5	356	5.3 222 7.8 327
Strahlungsbilanz			
	1.2	50	4.2 176 -6.2 -260
Atmosphärische Gegenstrahlung			
	5.0	209	4.5 188 2.9 121

sinkt an wolkenlosen Tagen von ca. 43 W/m² im Juli auf 23 W/m² im September. In Tab.2 sieht man die Gradienten zwischen den beiden Stationen.

Die Tendenz der langwelligigen Bilanz geht auf der Station Mut vom Juli zu weniger negativen Werten im September, da die häufigere Schneedeckung die Abnahme der Gegenstrahlung in diesem Zeitraum ausgleicht. Der bis in den Herbst freie Boden im Tal bedingt die leichte Zunahme der langwelligigen Strahlungsverluste bei abnehmendem atmosphärischem Temperatur- und Feuchtigkeitsniveau.

5. Tagesgänge heiterer und bewölkter Tage

3 typische Tagesgänge von kurzweiliger (KB), langweiliger (LB) und Gesamtbilanz (SB) sowie atmosphärischer Gegenstrahlung A und Emission des Bodens E vom 7. und 9. August 1976 sind in den Abb.3 bis 5 zu sehen. Der 7. August war ein fast wolkenloser Tag mit einer Tagessumme der Globalstrahlung von 29.9 MJ/m². Er zeigt deutlich die Phasenverschiebung zwischen Erwärmung der Bodenoberfläche und der sie erzeugenden kurzweiligen Bilanz. Dies setzt sich in der langweiligen Bilanz spiegelbildlich fort, da die Gegenstrahlung an wolkenlosen Tagen nur einen geringen Tagesgang aufweist.

Den Einfluß von kurzzeitiger Bewölkung sieht man in Abb.4, die denselben Tag auf der Station Wiese darstellt. Als um 15^h Cu-Bewölkung die Sonne kurz verdeckte, sank kurzweilige- und Gesamtbilanz, die Gegenstrahlung stieg leicht an. Der Rückgang der Bodenemission war auf Grund der Wärmekapazität des Bodens um eine Stunde verzögert.

Einen wesentlich größeren Anteil an der Gesamtbilanz hat die Gegenstrahlung an stark bedeckten Tagen, wie z.B. am 9.8.76 in Abb.5. Die kurzweilige Bilanz beträgt in der Tagessumme ein Fünftel des Wertes vom 7.8.76 und liegt nur wenig über der Gesamtbilanz. Die Bodenemission ist nach dem voran-

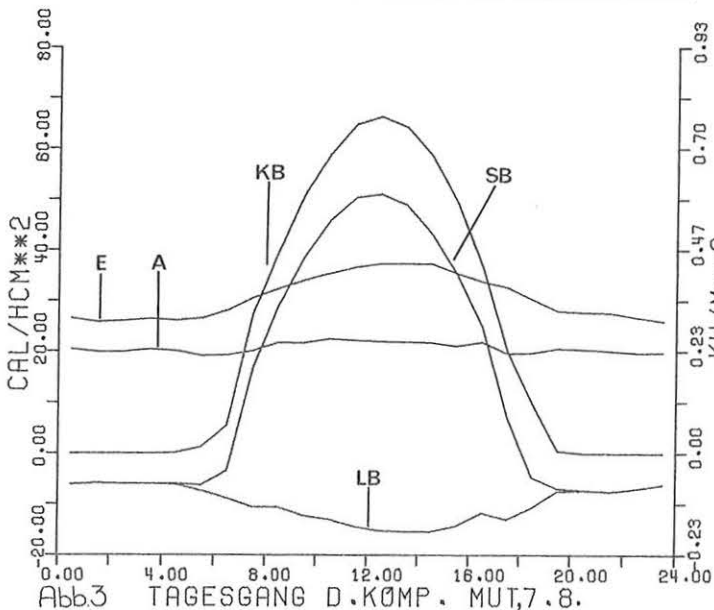


Abb.3 TAGESGANG D.KÖMP. MUT, 7.8.

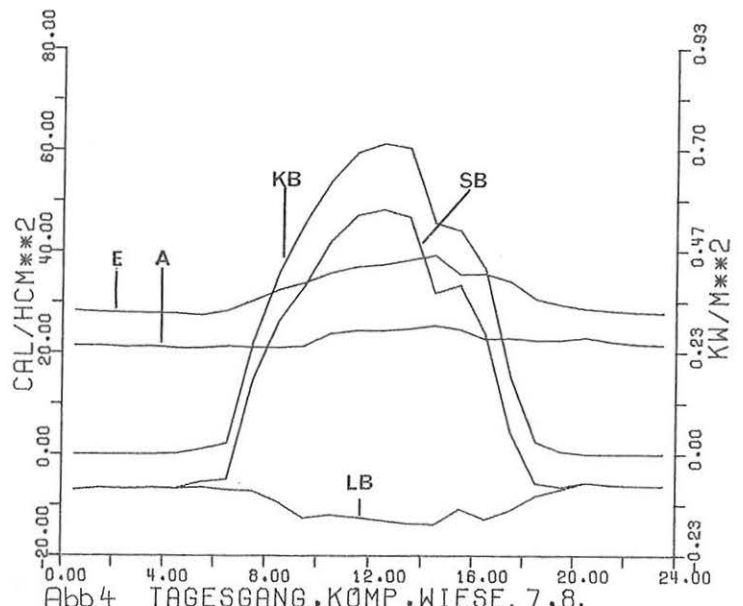


Abb.4 TAGESGANG, KÖMP, WIESE, 7.8.

gegangenen Schönwettertagen noch relativ hoch und ändert sich bei steigender Globalstrahlung durch kurze Aufhellungen gegenläufig zur atmosphärischen Strahlung und in vermehrtem Maß zur langwelligen Bilanz. Um 13^h erreichte die Gegenstrahlung ihr Maximum 337 W/m^2 als die Untergrenze der Nimbostratus-Decke auf 2400 m lag, und die Station in Nebel eingehüllt war. Die Globalstrahlung beträgt in dieser Stunde $163 \text{ kJ/m}^2 \text{ h}$, das sind 5% eines Schönwetterwertes.

Referenzen

Dirmhirn, I (1959): Untersuchungen an Sternpyranometern. Arch.f.Met.Geoph.Biokl. Ser.B,19,149-156.
Dirmhirn, I.(1951): Untersuchungen der Himmelsstrahlung in den Ostalpen mit besonderer Berücksichtigung ihrer Höhenabhängigkeit. Archiv f. Met. Geoph.Biokl.,Ser.B.,2, 301-346.
Kondratyev, K.Ya. (1969): Radiation in the Atmosphere. Intern.Geophysics Series Vol.12, Acad.Press, N.Y.
Rott, H. (1974): Eichungen an Sternpyranometern. Wetter und Leben, 26.Jg., S.221-226.
Sauberer, F. (1955): Zur Abschätzung der Globalstrahlung in verschiedenen Höhenstufen der Ostalpen; Wetter und Leben, 7.Jg.,1955,22-29.

