



5

**Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen
eines nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche
in Locarno-Monti**

Von
Fl. Ambrosetti und J. C. Thams

DIE DIREKTE SONNENSTRAHLUNG AUF DIE FLAECHEEN EINES NACH SUEDEN
ORIENTIERTEN WUERFELS OHNE GRUNDFLAECHE IN LOCARNO-MONTI

Von Fl. AMBROSETTI und J. C. THAMS

Osservatorio Ticinese della Centrale Meteorologica Svizzera, Locarno-Monti



ZUSAMMENFASSUNG

Anhand siebenjähriger Strahlungsmessungen in Locarno-Monti am Alpenstüdfuss wurde die direkte Sonnenstrahlung, die auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels fällt, berechnet. Es werden die Tagesgänge, die Jahresgänge und das Verhältnis der direkten Sonnenstrahlung auf die Flächen des Würfels zu jener auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche diskutiert. Ein Vergleich mit anderen Stationen in der Ebene und im Hochgebirge zeigt, wie begünstigt der Ort Locarno-Monti in bezug auf sein Strahlungsklima ist.

RÉSUMÉ

En partant de mesures de rayonnement faites durant sept années à Locarno-Monti (pied sud des Alpes), on a calculé le rayonnement solaire direct qui tombe sur chacune des cinq faces d'un cube orienté au sud. On discute les courbes de l'évolution diurne et annuelle de ce rayonnement ainsi que le rapport entre le rayonnement solaire direct tombant sur les différentes faces du cube et celui que recevrait une surface placée perpendiculairement aux rayons du soleil. En comparant les valeurs ainsi obtenues à celles provenant d'autres stations situées tant en plaine qu'en haute montagne, on demontre combien Locarno-Monti est favorisé au point de vue de son climat de rayonnement.

RIASSUNTO

Partendo dalle misure della radiazione solare, effettuate durante sette anni a Locarno-Monti al piede meridionale delle Alpi, fu calcolata la radiazione solare diretta sulle cinque facce di un cubo orientato verso sud. Sono discussi gli andamenti giornalieri e annuali, e il rapporto della radiazione solare diretta sulle superfici del cubo in relazione a quella su una superficie perpendicolare ai raggi solari. Il confronto con altre stazioni di pianura e di alta montagna, mostra come la località di Locarno-Monti sia favorita per quanto riguarda il suo clima di radiazione.

SUMMARY

The direct solar radiation on the five surfaces of a cube orientated to the south, has been calculated by means of a seven years' period of measurements at Locarno-Monti on the southern slope of the Alps. The diurnal and annual variations as well as the relation between the direct solar radiation received by the cube to that on a surface perpendicular to the direction of the radiation is discussed. A comparison with other stations in a flat country and in the high mountain shows the favorable location of Locarno-Monti regarding its radiation climate.

EINLEITUNG

In einer früheren Arbeit [6] wurde die kurzweilige Strahlung von Sonne und Himmel, die ein nach Süden orientierter Würfel ohne Grundfläche in Locarno-Monti ($\varphi = 46^{\circ}10'$, $\lambda = 8^{\circ}47' E$, 380 m/M) empfängt, untersucht. An sonnenscheinreichen Tagen bildet die direkte Sonnenstrahlung die Hauptkomponente; diese soll nun in der vorliegenden Arbeit näher betrachtet werden. Als Grundlage dienen Einzelmessungen der direkten Sonnenstrahlung auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche, die mit Hilfe eines Panzeraktinometers vorgenommen wurden. Das Instrument wird regelmässig mit einem Kompensationspyrheliometer nach Ångström verglichen, das seinerseits an den internationalen Standard angeschlossen ist. Alle hier mitgeteilten Werte beziehen sich auf die internationale Pyrheliometerskala IPS 1956.

Messungen der direkten Sonnenstrahlung werden in Locarno-Monti seit dem Jahre 1935 ausgeführt. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch nur die Werte der Periode vom Juli 1957 bis zum Juni 1964 herangezogen. Tabelle 1 gibt eine Uebersicht über das hier verwendete Material:

Tabelle 1. Uebersicht über das verwendete Material

Jahr	1957 ab Juli	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964 bis Juni	Summe	Mittel
Anzahl der Messerien	257	537	458	214	273	440	301	306	2786	398
Anzahl der Messtage	63	110	90	51	56	84	72	70	596	85

Die Mittelwerte der einzelnen Messerien wurden als Funktion der optischen Luftmasse aufgetragen und aus der graphischen Darstellung die Werte für die einzelnen Stunden entnommen. Als Beispiel wurden in Abbildung 1 die Werte um 12 Uhr WSZ der Jahre 1957 bis 1964 dargestellt. Die Streuung der Einzelwerte ist wegen der sehr starken Schwankung der Trübung in Locarno-Monti besonders gross, werden doch bei Nordföhnlagen Intensitäten erreicht, die denen des Hochgebirges entsprechen, während bei sehr dunstigem Wetter die Werte ganz erheblich tiefer liegen. Die untere Kurve stellt die Mittelwerte dar, die obere, umhüllende die Maximalwerte, die den in den Anfängen der systematischen Strahlungsforschung als Normalwerte bezeichneten entsprechen würden.

ERGEBNISSE

Tagesgang. Von den Werten der direkten Sonnenstrahlung auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche ausgehend, lässt sich dann nach den bekannten geometrischen Formeln die Intensität für die verschiedenen Flächen des Würfels berechnen. In den Tabellen 2 und 3 sind für den 15. eines jeden Monats die Mittel- bzw. Maximalwerte von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang angegeben. Da der Tagesgang in beiden Fällen ähnlich ist, haben wir uns damit begnügt, in der Abbildung 2 nur die Maximalwerte einzuzichnen. Die Kurven für die horizontale Fläche zeigen das bekannte Bild. Der Tagesgang der direkten Sonnenstrahlung auf die Südwand hat einen ähnlichen Verlauf, die Intensitäten sind jedoch in den Monaten von Oktober bis März wegen der kleinen Sonnenhöhe grösser als für die horizontale Fläche. Dieser Unterschied ist in den Wintermonaten besonders gross. Die Ost- und die Westwand empfangen die maximale Intensität am Vor- bzw. Nachmittag, die Kurven liegen spiegelbildlich zum Mittag. Es ist jedoch bemerkenswert, dass die Maxima der Ostwand höher liegen, was ohne Zweifel mit dem Tagesgang der Trübung zusammenhängt, die am Vormittag kleiner ist als am Nachmittag. Entsprechend dem grösseren Tagebogen im Sommer erhält auch die Nordwand vom April bis August direkte Sonnenstrahlung.

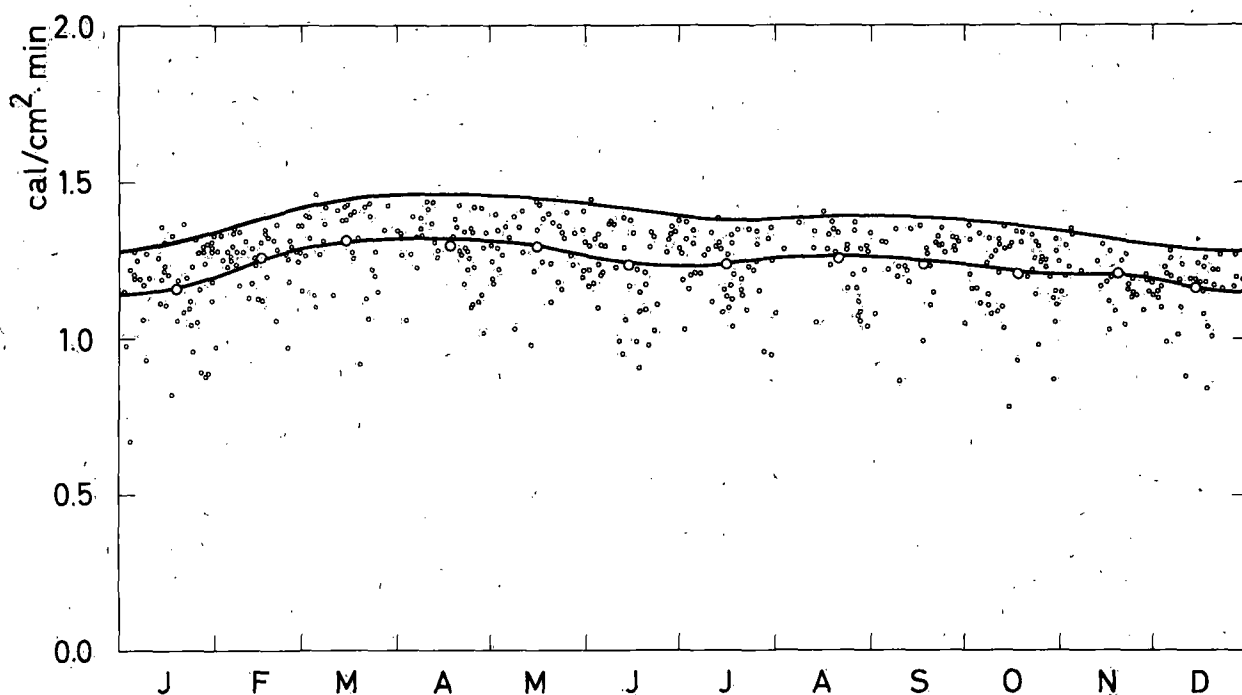


Abb. 1. Der Jahresgang der direkten Sonnenstrahlung in $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min}$ auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche um 1200 Uhr WSZ in Locarno-Monti.

Sie ist aber im Vergleich zu den Intensitäten, die die anderen Würfelflächen empfangen, vernachlässigbar klein, was von der Globalstrahlung nicht gilt.

Tagessumme. Wie gross ist nun die Strahlungssumme, welche die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels und der gesamte Würfel im Laufe eines Tages erhalten? Darüber geben die Tabellen 4 und 5 Auskunft, in denen auch noch die Werte aufgeführt sind, die eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche erhalten würde (siehe auch Abbildung 3). Die horizontale Fläche erhält im Jahresdurchschnitt am meisten Strahlung, die Ost-, bzw. Westwand nur etwa die Hälfte davon. Die tiefsten Werte werden im Winter, die höchsten im Sommer erreicht. Ganz anders geartet ist der Jahresgang der Strahlungsintensität auf die Südfläche, die im Sommer am wenigsten und im Frühjahr und Herbst am meisten Energie empfängt. Verschwindend klein sind die Werte für die Nordwand. Für den Gesamtwürfel wird der Maximalwert in den Frühjahrsmonaten erreicht. Es fällt auf, dass die Kurve nicht symmetrisch zum längsten Tag des Jahres ist, was sich aus den grossen Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung im Frühjahr wegen der grösseren Luftreinheit erklärt. Die Jahresschwankung ist für den gesamten Würfel relativ kleiner als für die horizontale Fläche, beträgt doch der kleinste Wert im Winter 50% des Maximalwertes, für die horizontale Fläche jedoch nur 20%.

Um die Intensitäten, die die verschiedenen Flächen des Würfels erhalten, rasch berechnen zu können, wurde untersucht, in welcher Beziehung die Ausgangsdaten, nämlich die Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche, zu jenen der Flächen des Würfels stehen. Wir haben diese Quotienten anhand der Maximalintensitäten für die verschiedenen Flächen berechnet (Tab. 6, Abb. 4). Mit Ausnahme des ganzen Würfels haben alle Quotienten einen Wert kleiner als 1. Für die horizontale Fläche, die Ost-, West- und Nordwand zeigt sich ein einfacher Jahresgang mit den kleinsten Werten im Winter und den grössten im Sommer. Entgegengesetzt verläuft die Kurve für die Südwand, die auch die grösste Amplitude aufweist. Der Quotient für den gesamten Würfel hat zwei charakteristische Maxima im Frühjahr und im Herbst; die Werte schwanken jedoch nur zwischen 1.49 und 1.61. Für eine grobe Ueberschlagsrechnung könnte man also für das ganze Jahr mit einem Faktor von 1.55 rechnen.

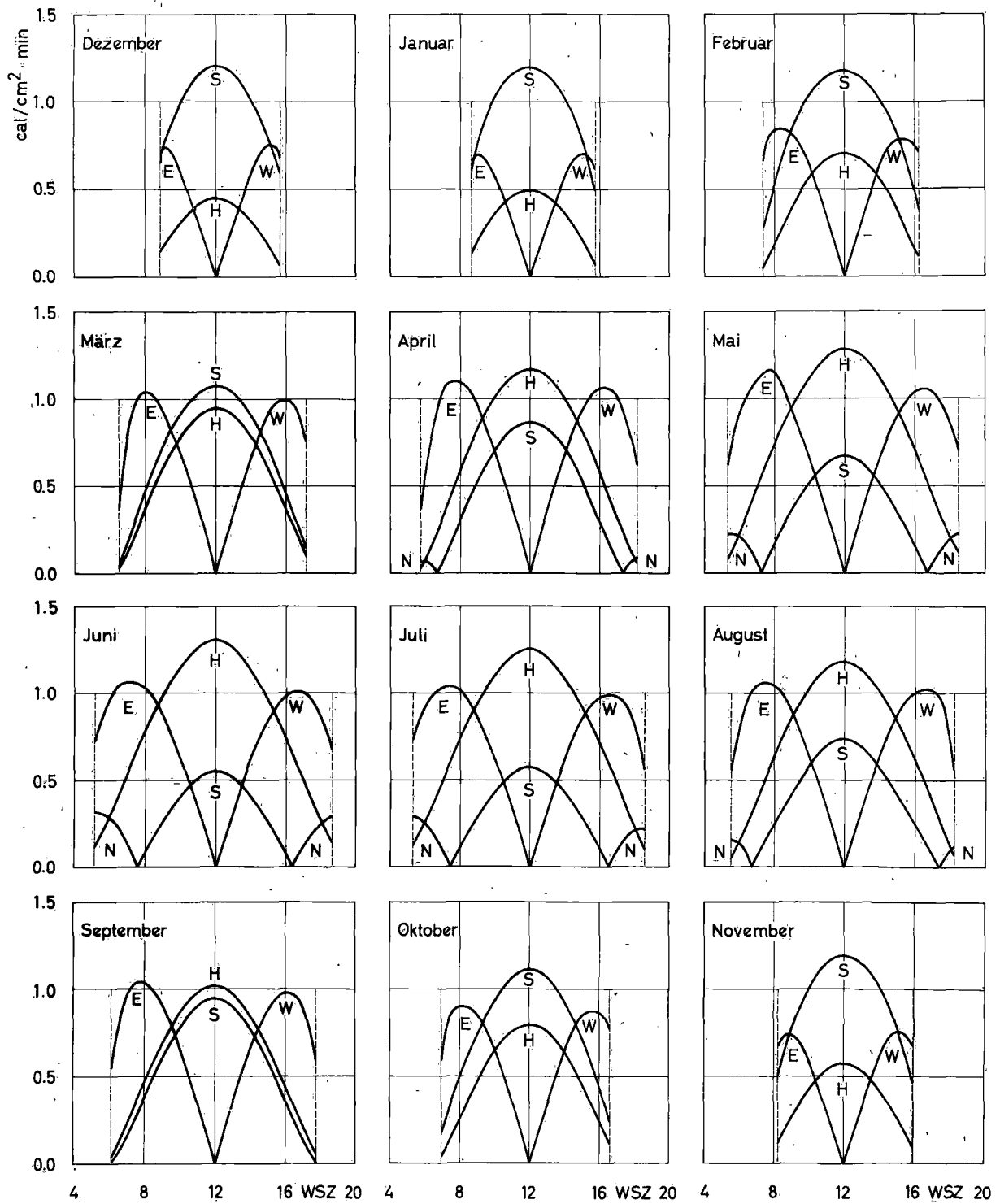


Abb. 2. Die Tagesgänge der Maximalwerte der direkten Sonnenstrahlung in $\text{cal/cm}^2 \text{min}$ auf die fünf Seiten eines nach Süden orientierten Würfels an heiteren Tagen in Locarno-Monti.

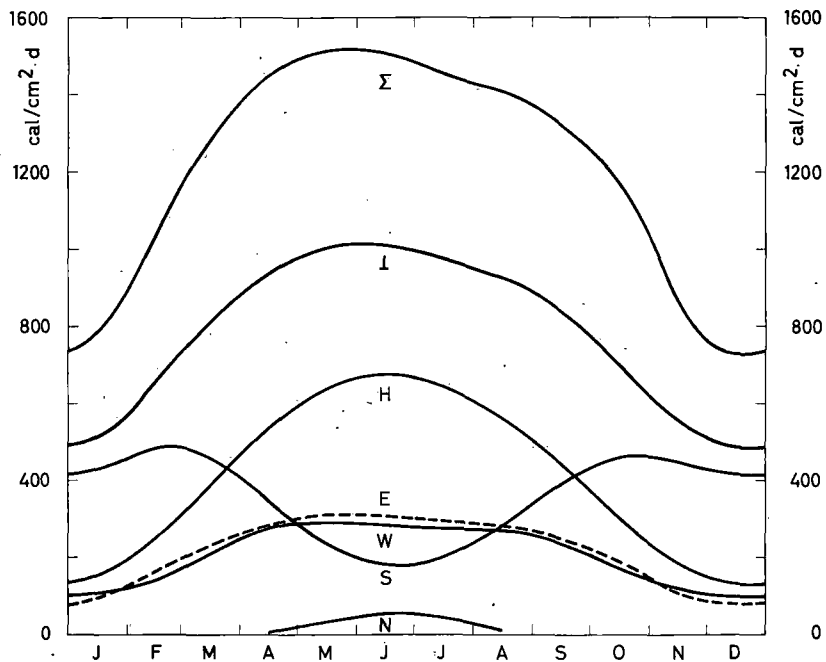


Abb. 3. Die Jahrgänge der maximalen Tagessummen der direkten Sonnenstrahlung in gcal/cm^2 auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels sowie auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche an heiteren Tagen in Locarno-Monti.

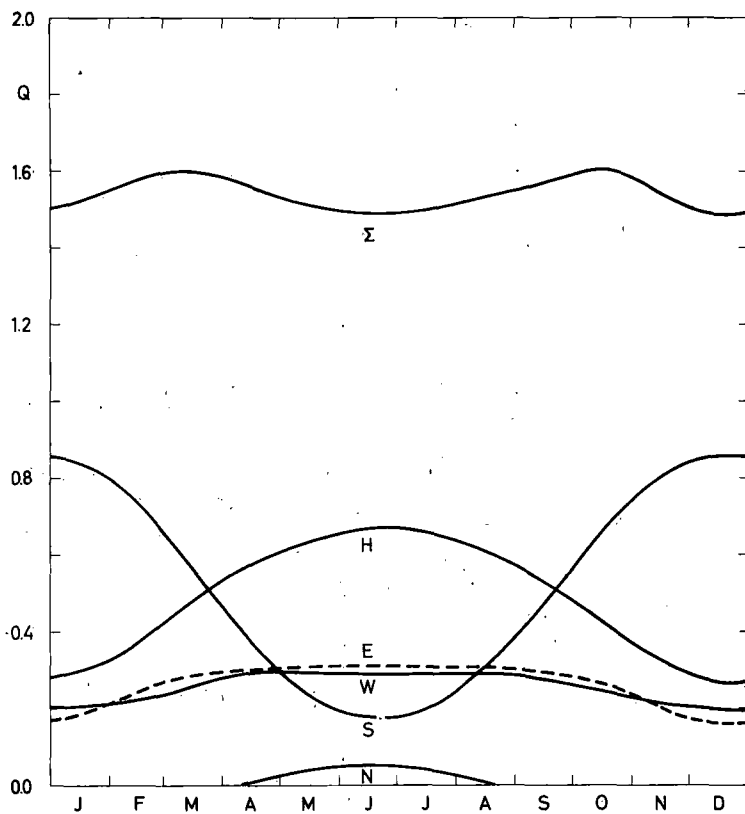


Abb. 4. Die Jahrgänge der Verhältnisse der direkten Sonnenstrahlung auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels zu jener auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche an heiteren Tagen in Locarno-Monti.

Monatssumme. Die Anzahl der klaren Tage an einem Ort ist selbstverständlich wegen der verschiedenen Bewölkungsverhältnisse grossen Schwankungen unterworfen. So werden z. B. im klimatologischen Durchschnitt in Zürich 43 heitere Tage pro Jahr, in Locarno-Monti 92 [7] gezählt. Man kann nun, ausgehend von den Grundwerten, aus denen die Tabelle 4 abgeleitet wurde, mit Hilfe der gemessenen Sonnenscheindauer die Monatssummen der direkten Sonnenstrahlung bei den durchschnittlichen Bewölkungsverhältnissen berechnen; man erhält dann die Werte der Tabelle 7. Aus ihr ersieht man, dass der Jahresgang in grossen Zügen ähnlich ist wie unter der Annahme wolkenlosen Himmels, die absoluten Werte liegen natürlich tiefer. Gewisse Eigenschaften, die eng mit den klimatischen Verhältnissen von Locarno-Monti verbunden sind, treten aber doch deutlich in Erscheinung, so z. B. der Rückgang der Strahlung im Juni und November. Der Verlust an direkter Sonnenstrahlung durch die Bewölkung ist für die einzelnen Flächen des Würfels nicht sehr verschieden, da sich hier nur der Tagesgang der Bewölkung auswirkt. Im Jahresgang schwankt der Verlust an direkter Sonnenstrahlung durch die Bewölkung zwischen 58% im November und 29% im Juli.

VERGLEICH MIT ANDEREN ORTEN

Beim Vergleich der Strahlungsverhältnisse verschiedener Orte muss eine Reihe von Faktoren berücksichtigt werden. Hier spielen vor allem, wenn man Flachlandstationen mit Gebirgsstationen vergleicht, die Meereshöhe des Ortes und die Einengung des Horizontes eine ausschlaggebende Rolle, was besonders den Vergleich von Tagessummen schwierig macht. Beschränkt man sich nicht nur auf wolkenlose Tage, sondern berücksichtigt man auch die durchschnittlichen Bewölkungsverhältnisse, so ergibt ein Vergleich streng genommen nur dann sichere Resultate, wenn es sich um die gleichen und genügend lange Perioden handelt. Die meisten Untersuchungen über spezielle Fragen der Strahlung umfassen nur kurze Perioden, sodass die oben erwähnten Bedingungen kaum zu erfüllen sind. Dieser Unzulänglichkeiten muss man sich immer bewusst sein, wenn man Strahlungsdaten verschiedener Orte vergleicht.

In Anbetracht dieser Schwierigkeiten haben wir uns darauf beschränkt, in der Tabelle 8 nur die Werte von heiteren Tagen zu geben und zwar stehen uns für den Vergleich die Daten der Stationen Uccle [3, 4, 5] und Arosa [2] und die Werte von Oesterreich in 200 m Seehöhe, wie sie F. Steinhauser [8] angibt, zur Verfügung. Die Werte wurden in die internationale Pyrheliometerskala IPS 1956 umgerechnet. Die Werte von Locarno-Monti und jene für Oesterreich in 200 m Seehöhe angegebenen unterscheiden sich nur sehr wenig voneinander. Auch in Uccle, einer typischen Tieflandstation, wird im Sommer praktisch gleich viel Energie auf den Würfel eingestrahlt wie in Locarno-Monti, im Winter dagegen wegen des starken Dunstes nur etwa die Hälfte. Viel höher sind die Intensitäten der direkten Sonnenstrahlung in Arosa, das wegen seiner grossen Meereshöhe begünstigt ist. Diese markanten Unterschiede treten für alle fünf Flächen des Würfels in mehr oder weniger gleicher Weise auf. Für Uccle und Oesterreich wurde die Strahlung auf die Ost- und die Westwand gleichgesetzt. In Locarno-Monti und Arosa folgte jedoch aus den Messungen, dass dies nicht ohne weiteres zulässig ist, da die Werte wegen des Tagesganges der Trübung nicht vernachlässigbare Unterschiede zeigen. Wesentlich andere Unterschiede ergeben sich, wenn wir die Bewölkungsverhältnisse der verschiedenen Orte einbeziehen. Da die Strahlungsenergien auf die einzelnen Flächen des Würfels mit Hilfe geometrischer Formeln bestimmt werden, mag es bei einem Vergleich zwischen den Strahlungsverhältnissen verschiedener Orte genügen, die direkte Sonnenstrahlung auf nur eine Wand zu betrachten. In Tabelle 9 sind die Monatssummen der direkten Sonnenstrahlung auf eine Südwand für die Orte Locarno-Monti, Wien [1], Uccle und Arosa unter Berücksichtigung der entsprechenden relativen Sonnenscheindauer angegeben. Hier sind die Strahlungsenergien für Uccle während des ganzen Jahres praktisch gleich jener Wiens. Bei den Werten für Locarno-Monti spiegelt sich das ausserordentlich sonnenscheinreiche Klima dieses Ortes wieder. Die Südwand empfängt hier wesentlich mehr Strahlung, im Winter siebenmal soviel, als in Wien, und in den Monaten April bis August sogar mehr als in der Hochgebirgsstation Arosa!

Wie aus unseren Ausführungen hervorgeht, spielt die Komponente der direkten Sonnenstrahlung praktisch nur an den Orten eine grosse Rolle, an denen die Anzahl der heiteren Tage gross ist. Mit zunehmender Bewölkung werden nicht nur sehr viel kleinere Beträge an Strahlungsenergie erreicht, es findet auch ein starker Ausgleich im Strahlungsgenuss der einzelnen Flächen des Würfels statt. Für viele Zwecke der Technik ist es aber wichtig, die maximal möglichen Werte der Einstrahlung an einem Ort zu kennen, die nur an wolkenlosen Tagen bei sehr kleiner Trübung erreicht werden können.

Tabelle 2. Die direkte Sonnenstrahlung in $\text{gcal/cm}^2 \text{ min}$ auf eine zur Strahlungsrichtung senkrechte Fläche [L] und auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels an heiteren Tagen in Locarno-Monti (Mittelwerte). Messperiode: 1. Juli 1957 bis 30. Juni 1964.

Datum	WSZ	Sonnenhöhe	L	H	E	S	W	N
15. I.	0838	8.6	0.80	0.12	0.57	0.54		
	0900	11.2	0.92	0.19	0.60	0.67		
	1000	17.2	1.08	0.32	0.51	0.90		
	1100	21.2	1.15	0.42	0.28	1.04		
	1200	22.6	1.16	0.45	0.00	1.07	0.00	
	1300	21.2	1.13	0.41		1.02	0.27	
	1400	17.2	1.05	0.31		0.87	0.49	
	1500	11.2	0.86	0.17		0.63	0.57	
	1546	5.4	0.58	0.06		0.36	0.45	
15. II	0721	4.1	0.60	0.04	0.55	0.24		
	0800	10.0	0.82	0.14	0.69	0.42		
	0900	18.3	1.07	0.34	0.70	0.77		
	1000	25.0	1.19	0.50	0.58	0.91		
	1100	29.4	1.25	0.61	0.32	1.04		
	1200	30.7	1.26	0.64	0.00	1.08	0.00	
	1300	29.4	1.24	0.61		1.03	0.31	
	1400	25.0	1.15	0.49		0.88	0.56	
	1500	18.3	1.02	0.32		0.70	0.66	
	1600	10.0	0.71	0.12		0.36	0.60	
	1613	8.1	0.56	0.08		0.27	0.49	
15. III.	0630	3.4	0.32	0.02	0.32	0.04		
	0700	8.6	0.62	0.09	0.60	0.14		
	0800	18.3	0.99	0.31	0.86	0.38		
	0900	27.3	1.16	0.53	0.81	0.64		
	1000	34.7	1.26	0.72	0.63	0.82		
	1100	39.6	1.29	0.82	0.33	0.94		
	1200	41.3	1.31	0.86	0.00	0.98	0.00	
	1300	39.6	1.29	0.82		0.94	0.33	
	1400	34.7	1.23	0.70		0.80	0.61	
	1500	27.3	1.13	0.52		0.63	0.78	
	1600	18.3	0.92	0.29		0.36	0.80	
	1700	8.6	0.58	0.09		0.13	0.56	
	1707	7.4	0.51	0.07		0.10	0.50	
15. IV.	0543	4.0	0.24	0.02	0.24			0.04
	0600	6.8	0.43	0.05	0.42			0.05
	0700	17.2	0.88	0.26	0.84	0.06		
	0800	27.3	1.09	0.50	0.93	0.26		
	0900	37.0	1.20	0.72	0.84	0.47		
	1000	45.3	1.28	0.91	0.63	0.64		
	1100	51.2	1.30	1.01	0.33	0.75		
	1200	53.2	1.31	1.05	0.00	0.78	0.00	
	1300	51.2	1.31	1.02		0.75	0.33	
	1400	45.3	1.26	0.90		0.63	0.62	
	1500	37.0	1.19	0.72		0.46	0.83	
	1600	27.3	1.07	0.49		0.26	0.92	
	1700	17.2	0.84	0.25		0.06	0.80	
	1800	6.8	0.56	0.07			0.55	0.07
	1808	5.6	0.51	0.05			0.50	0.07

Datum	WSZ	Sonnen- höhe	⊥	H	E	S	W	N
15. V.	0520	6.8	0.43	0.05	0.40			0.15
	0600	13.4	0.71	0.16	0.67			0.16
	0700	23.7	0.98	0.39	0.90			0.04
	0800	34.0	1.13	0.63	0.93	0.14		
	0900	44.0	1.22	0.85	0.82	0.32		
	1000	53.0	1.27	1.01	0.60	0.47		
	1100	59.8	1.29	1.12	0.32	0.56		
	1200	62.4	1.30	1.15	0.00	0.60	0.00	
	1300	59.8	1.29	1.12		0.56	0.32	
	1400	53.0	1.25	1.00		0.46	0.59	
	1500	44.0	1.19	0.83		0.31	0.80	
	1600	34.0	1.09	0.61		0.13	0.90	
	1700	23.7	0.92	0.37			0.84	0.04
	1800	13.4	0.70	0.16			0.66	0.16
	1828	8.7	0.57	0.09			0.54	0.17
15. VI.	0509	8.3	0.61	0.09	0.55			0.24
	0600	16.6	0.78	0.22	0.72			0.21
	0700	26.8	0.95	0.43	0.84			0.10
	0800	37.1	1.07	0.64	0.85	0.06		
	0900	47.3	1.16	0.85	0.75	0.22		
	1000	56.7	1.21	1.01	0.56	0.36		
	1100	64.2	1.24	1.12	0.29	0.46		
	1200	67.3	1.25	1.15	0.00	0.48	0.00	
	1300	64.2	1.21	1.09		0.44	0.28	
	1400	56.7	1.16	0.97		0.35	0.53	
	1500	47.3	1.10	0.81		0.21	0.72	
	1600	37.1	1.00	0.60		0.06	0.80	
	1700	26.8	0.84	0.38			0.74	0.09
	1800	16.6	0.70	0.20			0.64	0.19
	1838	10.4	0.58	0.11			0.52	0.22
15. VII.	0518	8.6	0.62	0.09	0.57			0.23
	0600	15.6	0.77	0.21	0.72			0.19
	0700	25.7	0.95	0.41	0.85			0.08
	0800	36.0	1.08	0.64	0.87	0.09		
	0900	46.1	1.15	0.83	0.76	0.25		
	1000	55.4	1.20	0.99	0.56	0.39		
	1100	62.6	1.22	1.08	0.29	0.48		
	1200	65.4	1.24	1.13	0.00	0.52	0.00	
	1300	62.6	1.21	1.07		0.48	0.29	
	1400	55.4	1.17	0.96		0.38	0.54	
	1500	46.1	1.11	0.77		0.25	0.76	
	1600	36.0	1.01	0.59		0.08	0.81	
	1700	25.7	0.84	0.36			0.75	0.07
	1800	15.6	0.62	0.17			0.58	0.16
	1836	9.6	0.47	0.08			0.43	0.17
15. VIII.	0531	5.4	0.50	0.05	0.48			0.13
	0600	10.3	0.67	0.12	0.65			0.11
	0700	20.6	0.94	0.33	0.88	0.08		
	0800	30.9	1.10	0.56	0.92	0.20		
	0900	40.7	1.18	0.77	0.81	0.38		
	1000	49.3	1.23	0.93	0.60	0.53		
	1100	55.7	1.26	1.04	0.32	0.64		

Datum	WSZ	Sonnen- höhe	\perp	H	E	S	W	N
15. VIII.	1200	58.0	1.26	1.07	0.00	0.67	0.00	
	1300	55.7	1.23	1.02		0.62	0.31	
	1400	49.3	1.20	0.91		0.52	0.59	
	1500	40.7	1.12	0.73		0.36	0.77	
	1600	30.9	1.01	0.52		0.18	0.85	
	1700	20.6	0.82	0.29		0.07	0.77	
	1800	10.3	0.51	0.09			0.50	0.09
	1815	7.8	0.41	0.06			0.40	0.09
15. IX.	0607	3.6	0.37	0.02	0.37	0.01		
	0700	12.8	0.76	0.17	0.73	0.11		
	0800	22.8	1.02	0.40	0.88	0.32		
	0900	32.1	1.14	0.61	0.80	0.54		
	1000	39.8	1.21	0.78	0.61	0.70		
	1100	45.3	1.24	0.88	0.29	0.81		
	1200	47.0	1.25	0.91	0.00	0.85	0.00	
	1300	45.3	1.23	0.87		0.80	0.32	
	1400	39.8	1.17	0.75		0.68	0.59	
	1500	32.1	1.09	0.58		0.51	0.77	
	1600	22.8	0.92	0.36		0.29	0.80	
	1700	12.8	0.63	0.14		0.10	0.61	
	1745	5.0	0.30	0.03		0.00	0.30	
	15. X.	0659	4.1	0.38	0.03	0.36	0.11	
0700		4.3	0.40	0.03	0.38	0.11		
0800		13.8	0.87	0.21	0.75	0.40		
0900		22.4	1.07	0.41	0.75	0.64		
1000		29.4	1.18	0.58	0.59	0.84		
1100		34.0	1.21	0.68	0.31	0.95		
1200		35.7	1.22	0.71	0.00	0.99	0.00	
1300		34.0	1.21	0.68		0.95	0.31	
1400		29.4	1.14	0.56		0.81	0.57	
1500		22.4	1.02	0.39		0.61	0.72	
1600		13.8	0.79	0.19		0.36	0.68	
1636	8.2	0.57	0.08		0.16	0.54		
15. XI.	0814	8.0	0.76	0.11	0.60	0.46		
	0900	13.8	0.97	0.23	0.65	0.68		
	1000	20.1	1.13	0.39	0.54	0.91		
	1100	24.3	1.20	0.49	0.28	1.06		
	1200	25.6	1.21	0.52	0.00	1.09	0.00	
	1300	24.3	1.20	0.49		1.06	0.28	
	1400	20.1	1.11	0.38		0.90	0.53	
	1500	13.8	0.94	0.22		0.66	0.63	
	1558	6.3	0.61	0.07		0.34	0.50	
15. XII.	0850	8.5	0.85	0.13	0.57	0.62		
	0900	9.4	0.89	0.14	0.58	0.66		
	1000	15.4	1.06	0.28	0.48	0.90		
	1100	19.3	1.14	0.38	0.27	1.04		
	1200	20.5	1.16	0.41	0.00	1.09	0.00	
	1300	19.3	1.14	0.38		1.04	0.27	
	1400	15.4	1.05	0.28		0.89	0.48	
	1500	9.4	0.85	0.14		0.63	0.55	
	1541	4.5	0.53	0.04		0.40	0.35	

Tabelle 3. Die direkte Sonnenstrahlung in $\text{gal/cm}^2 \text{ min}$ auf eine zur Strahlungsrichtung senkrechte Fläche [\perp] und auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels an heiteren Tagen in Locarno-Monti (Maximalwerte). Messperiode: 1. Juli 1957 bis 30. Juni 1964.

Datum	WSZ	Sonnenhöhe	\perp	H	E	S	W	N
15. I.	0838	8.6	0.89	0.13	0.64	0.61		
	0900	11.2	1.07	0.21	0.70	0.78		
	1000	17.2	1.23	0.36	0.58	1.02		
	1100	21.2	1.29	0.47	0.31	1.16		
	1200	22.6	1.30	0.50	0.00	1.20	0.00	
	1300	21.2	1.27	0.46		1.14	0.31	
	1400	17.2	1.23	0.36		1.02	0.58	
	1500	11.2	1.07	0.21		0.78	0.70	
	1546	5.4	0.79	0.07		0.49	0.61	
	15. II.	0721	4.1	0.70	0.05	0.64	0.28	
0800		10.0	1.00	0.17	0.84	0.51		
0900		18.3	1.25	0.39	0.82	0.86		
1000		25.0	1.33	0.56	0.65	1.02		
1100		29.4	1.37	0.67	0.34	1.14		
1200		30.7	1.38	0.70	0.00	1.19	0.00	
1300		29.4	1.35	0.66		1.13	0.34	
1400		25.0	1.32	0.56		1.01	0.64	
1500		18.3	1.19	0.37		0.82	0.78	
1600		10.0	0.90	0.16		0.46	0.76	
1613		8.1	0.80	0.11		0.38	0.70	
15. III.	0630	3.4	0.38	0.02	0.38	0.05		
	0700	8.6	0.84	0.13	0.81	0.18		
	0800	18.3	1.20	0.38	1.04	0.47		
	0900	27.3	1.34	0.62	0.93	0.74		
	1000	34.7	1.39	0.79	0.69	0.91		
	1100	39.6	1.42	0.90	0.37	1.03		
	1200	41.3	1.44	0.95	0.00	1.08	0.00	
	1300	39.6	1.42	0.90		1.03	0.37	
	1400	34.7	1.39	0.79		0.91	0.67	
	1500	27.3	1.32	0.60		0.73	0.92	
	1600	18.3	1.15	0.36		0.45	0.10	
	1700	8.6	0.85	0.13		0.18	0.82	
	1707	7.4	0.78	0.10		0.15	0.76	
15. IV.	0543	4.0	0.36	0.02	0.35			0.06
	0600	6.8	0.60	0.07	0.59			0.07
	0700	17.2	1.10	0.32	1.05	0.08		
	0800	27.3	1.28	0.59	1.10	0.31		
	0900	37.0	1.37	0.82	0.96	0.53		
	1000	45.3	1.41	1.00	0.69	0.71		
	1100	51.2	1.44	1.12	0.36	0.83		
	1200	53.2	1.46	1.17	0.00	0.88	0.00	
	1300	51.2	1.44	1.12		0.83	0.36	
	1400	45.3	1.42	1.01		0.71	0.70	
	1500	37.0	1.35	0.81		0.53	0.94	
	1600	27.3	1.25	0.57		0.30	1.07	
	1700	17.2	1.05	0.31		0.07	1.00	
	1800	6.8	0.70	0.08			0.69	0.08
1808	5.6	0.62	0.06			0.61	0.08	

Datum	WSZ	Sonnen- höhe	L	H	E	S	W	N
15. V.	0520	6.8	0.66	0.08	0.62			0.22
	0600	13.4	0.98	0.23	0.93			0.22
	0700	23.7	1.20	0.48	1.10			0.05
	0800	34.0	1.30	0.73	1.07	0.16		
	0900	44.0	1.37	0.95	0.92	0.36		
	1000	53.0	1.40	1.12	0.67	0.52		
	1100	59.8	1.44	1.24	0.36	0.63		
	1200	62.4	1.45	1.28	0.00	0.67	0.00	
	1300	59.8	1.43	1.24		0.63	0.35	
	1400	53.0	1.41	1.13		0.52	0.67	
	1500	44.0	1.33	0.92		0.35	0.89	
	1600	34.0	1.26	0.70		0.15	1.03	
	1700	23.7	1.14	0.46			1.04	0.05
	1800	13.4	0.90	0.21			0.85	0.20
1828	8.7	0.74	0.11			0.70	0.23	
15. VI.	0509	8.3	0.81	0.12	0.73			0.32
	0600	16.6	1.04	0.30	0.96			0.28
	0700	26.8	1.20	0.54	1.06			0.12
	0800	37.1	1.29	0.78	1.03	0.07		
	0900	47.3	1.34	0.98	0.87	0.26		
	1000	56.7	1.37	1.14	0.63	0.41		
	1100	64.2	1.40	1.26	0.33	0.51		
	1200	67.3	1.42	1.31	0.00	0.55	0.00	
	1300	64.2	1.39	1.25		0.51	0.33	
	1400	56.7	1.37	1.14		0.41	0.63	
	1500	47.3	1.30	0.96		0.25	0.84	
	1600	37.1	1.24	0.75		0.07	0.99	
	1700	26.8	1.13	0.51			1.00	0.12
	1800	16.6	0.94	0.27			0.86	0.26
1838	10.4	0.75	0.14			0.68	0.29	
15. VII.	0518	8.6	0.79	0.12	0.73			0.29
	0600	15.6	0.98	0.26	0.91			0.24
	0700	25.7	1.15	0.50	1.03			0.09
	0800	36.0	1.26	0.74	1.01	0.10		
	0900	46.1	1.30	0.94	0.86	0.28		
	1000	55.4	1.35	1.11	0.63	0.44		
	1100	62.6	1.37	1.22	0.33	0.54		
	1200	65.4	1.38	1.26	0.00	0.57	0.00	
	1300	62.6	1.34	1.19		0.53	0.32	
	1400	55.4	1.33	1.10		0.43	0.62	
	1500	46.1	1.30	0.94		0.28	0.86	
	1600	36.0	1.21	0.71		0.10	0.97	
	1700	25.7	1.10	0.48			0.99	0.09
	1800	15.6	0.87	0.23			0.81	0.22
1836	9.6	0.61	0.10			0.56	0.22	
15. VIII.	0531	5.4	0.58	0.05	0.56			0.15
	0600	10.3	0.81	0.14	0.78			0.14
	0700	20.6	1.11	0.39	1.04	0.09		
	0800	30.9	1.24	0.64	1.04	0.22		
	0900	40.7	1.32	0.86	0.91	0.43		
	1100	55.7	1.38	1.14	0.35	0.70		

Datum	WSZ	Sonnen- höhe	⊥	H	E	S	W	N	
15. VIII.	1200	58.0	1.39	1.18	0.00	0.74	0.00		
	1300	55.7	1.36	1.12		0.68	0.34		
	1400	49.3	1.32	1.00		0.57	0.64		
	1500	40.7	1.29	0.84		0.42	0.88		
	1600	30.9	1.19	0.61		0.21	0.10		
	1700	20.6	1.09	0.38		0.09	1.02		
	1800	10.3	0.75	0.13			0.73	0.09	
	1815	7.8	0.56	0.08			0.54	0.12	
15. IX.	0607	3.6	0.55	0.04	0.55	0.01			
	0700	12.8	0.98	0.22	0.95	0.14			
	0800	22.8	1.20	0.46	1.04	0.38			
	0900	32.1	1.30	0.69	0.92	0.61			
	1000	39.8	1.35	0.86	0.68	0.78			
	1100	45.8	1.38	0.98	0.33	0.90			
	1200	47.0	1.39	1.02	0.00	0.95	0.00		
	1300	45.3	1.35	0.96		0.88	0.35		
	1400	39.8	1.33	0.85		0.77	0.67		
	1500	32.1	1.25	0.66		0.59	0.88		
	1600	22.8	1.13	0.44		0.36	0.98		
	1700	12.8	0.92	0.20		0.13	0.89		
	1745	5.0	0.59	0.05		0.02	0.59		
	15. X.	0659	4.1	0.63	0.04	0.60	0.18		
0700		4.3	0.66	0.05	0.63	0.19			
0800		13.8	1.05	0.25	0.90	0.48			
0900		22.4	1.22	0.46	0.86	0.73			
1000		29.4	1.32	0.65	0.66	0.94			
1100		34.0	1.35	0.76	0.35	1.06			
1200		35.7	1.37	0.80	0.00	1.11	0.00		
1300		34.0	1.33	0.74		1.05	0.34		
1400		29.4	1.31	0.64		0.94	0.65		
1500		22.4	1.20	0.46		0.72	0.84		
1600		13.8	1.01	0.24		0.46	0.87		
1636		8.2	0.80	0.11		0.22	0.76		
15. XI.		0814	8.0	0.83	0.12	0.66	0.50		
		0900	13.8	1.10	0.26	0.74	0.77		
	1000	20.1	1.24	0.43	0.60	1.00			
	1100	24.3	1.30	0.54	0.30	1.15			
	1200	25.6	1.32	0.57	0.00	1.19	0.00		
	1300	24.3	1.30	0.54		1.15	0.30		
	1400	20.1	1.26	0.43		1.02	0.61		
	1500	13.8	1.12	0.27		0.78	0.75		
1558	6.3	0.82	0.09		0.46	0.67			
15. XII.	0850	8.5	0.95	0.14	0.64	0.69			
	0900	9.4	1.00	0.16	0.65	0.74			
	1000	15.4	1.18	0.31	0.54	1.00			
	1100	19.3	1.26	0.42	0.30	1.15			
	1200	20.5	1.29	0.45	0.00	1.21	0.00		
	1300	19.3	1.26	0.42		1.15	0.30		
	1400	15.4	1.21	0.32		1.03	0.55		
	1500	9.4	1.05	0.17		0.78	0.68		
	1541	4.5	0.80	0.06		0.60	0.52		

Tabelle 4. Die Tagessummen der direkten Sonnenstrahlung in gcal/cm^2 auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels sowie auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche \perp an heiteren Tagen in Locarno-Monti (Mittelwerte). Messperiode: 1. Juli 1957 bis 30. Juni 1964.

Monat \ Fläche	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
horizontal	135	225	342	478	556	<u>569</u>	555	501	389	268	167	118
Südwand	364	<u>429</u>	402	307	213	158	175	254	344	399	399	367
Ostwand	79	142	194	237	<u>260</u>	256	249	250	211	162	100	70
Westwand	89	117	177	234	<u>247</u>	228	225	221	191	141	104	83
Nordwand				4	25	41	32	10				
Summe	667	913	1115	1260	<u>1300</u>	1253	1236	1236	1135	971	770	640
\perp	456	577	697	812	864	840	823	804	715	609	498	428

Tabelle 5. Die Tagessummen der direkten Sonnenstrahlung in gcal/cm^2 auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels sowie auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche \perp an heiteren Tagen in Locarno-Monti (Maximalwerte). Messperiode: 1. Juli 1957 bis 30. Juni 1964.

Monat \ Fläche	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
horizontal	154	252	390	540	637	<u>677</u>	640	564	444	303	187	133
Südwand	428	<u>484</u>	458	344	238	182	197	284	390	<u>458</u>	445	417
Ostwand	91	167	227	282	<u>312</u>	309	296	286	248	191	110	78
Westwand	106	141	211	277	<u>292</u>	284	277	270	237	169	122	99
Nordwand				5	33	55	43	11				
Summe	779	1044	1285	1448	<u>1512</u>	1507	1453	1415	1319	1121	863	726
\perp	513	659	806	935	1003	1011	969	927	843	698	559	486

Tabelle 6. Das Verhältnis der Tagessummen der direkten Sonnenstrahlung, die die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels und der Gesamtwürfel empfangen, zu jener auf eine zur Strahlenrichtung senkrechte Fläche an heiteren Tagen in Locarno-Monti (aus den Maximalwerten der Tabelle 5). Messperiode: 1. Juli 1957 bis 30. Juni 1964.

Fläche \ Monat	Monat											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
horizontal	0.30	0.38	0.48	0.58	0.63	0.67	0.66	0.61	0.53	0.43	0.33	0.27
Südwand	0.84	0.73	0.57	0.37	0.24	0.18	0.20	0.31	0.46	0.66	0.80	0.86
Ostwand	0.18	0.25	0.28	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.29	0.27	0.20	0.16
Westwand	0.21	0.21	0.26	0.30	0.29	0.28	0.29	0.29	0.28	0.24	0.22	0.20
Nordwand				0.01	0.03	0.05	0.04	0.01				
Summe	1.52	1.58	1.60	1.55	1.51	1.49	1.50	1.53	1.56	1.61	1.54	1.49

Tabelle 7. Die Monatssummen der direkten Sonnenstrahlung in kcal/cm² auf die fünf Flächen eines nach Süden orientierten Würfels bei mittleren Bewölkungsverhältnissen in Locarno-Monti. Messperiode: 1. Juli 1957 bis 30. Juni 1964.

Fläche \ Monat	Monat												Jahr
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
horizontal	2598	3894	5713	8355	10664	10722	12595	11076	7635	4653	2172	1845	81922
Südwand	6606	7353	6687	5466	4197	3126	4145	5785	6816	6944	5124	5682	67931
Ostwand	1414	2074	2802	3921	4548	4410	5127	4666	3411	2486	1116	1011	36986
Westwand	1739	2094	3103	3621	4235	3879	4619	4641	3423	2530	1368	1308	36560
Nordwand				42	332	564	508	124					1570
Summe	12357	15415	18305	21405	23976	22701	26994	26292	21285	16613	9780	9846	224969

Tabelle 8. Vergleich der Tagessummen der direkten Sonnenstrahlung in gcal/cm² auf die fünf Seiten eines nach Süden orientierten Würfels an heiteren Tagen in Locarno-Monti, Oesterreich in 200 m/M, Uccle und Arosa.

Monat		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Station													
horizontal	Locarno-Monti	135	225	342	478	556	569	555	501	389	259	167	118
	Oesterreich 200 m/M	113	197	316	423	525	576	547	474	374	235	145	100
	Uccle	68	141	255	395	501	553	533	447	319	189	90	53
	Arosa	160	268	410	566	665	715	689	608	472	312	192	132
Südwall	Locarno-Monti	364	429	402	307	213	158	175	254	344	399	399	367
	Oesterreich 200 m/M	350	400	390	290	208	175	198	253	347	365	358	330
	Uccle	241	321	352	302	231	191	204	265	333	340	274	215
	Arosa	452	507	483	370	252	199	216	305	432	481	468	418
Ostwall	Locarno-Monti	79	142	194	237	260	256	249	250	211	162	100	70
	Oesterreich 200 m/M	85	122	176	215	242	254	253	233	199	142	99	73
	Uccle	48	92	150	209	246	262	255	226	177	117	63	40
	Arosa	102	149	223	292	334	351	347	313	252	166	118	86
Westwall	Locarno-Monti	89	117	177	234	247	228	225	221	191	141	104	83
	Oesterreich 200 m/M	85	122	176	215	242	254	253	233	199	142	99	73
	Uccle	48	92	150	209	246	262	255	226	177	117	63	40
	Arosa	96	113	226	276	301	304	312	288	242	173	111	76
Nordwall	Locarno-Monti				4	25	41	32	10				
	Oesterreich 200 m/M				5	33	51	37	14				
	Uccle				4	29	57	45	14				
	Arosa				2	38	68	59	12				
Würfel	Locarno-Monti	667	913	1115	1260	1300	1253	1236	1236	1135	962	770	640
	Oesterreich 200 m/M	633	841	1058	1148	1250	1310	1288	1207	1127	884	701	576
	Uccle	405	646	907	1119	1253	1325	1292	1178	1006	763	490	348
	Arosa	810	1036	1342	1505	1590	1637	1623	1525	1398	1132	889	712

Tabelle 9. Vergleich der Monatssummen der direkten Sonnenstrahlung in gcal/cm² auf eine Südwand in Locarno-Monti, Wien, Uccle und Arosa unter Berücksichtigung der entsprechenden Bewölkungsverhältnisse.

Station \ Monat	Monat												Jahr
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Locarno-Monti	6439	7560	7530	5670	3875	3231	4145	5809	6597	8609	6288	6147	71900
Wien	1367	1945	3195	2705	2548	2061	2401	3283	3616	2977	1323	882	28303
Uccle	1349	2140	2768	3078	2756	1995	2129	3177	3809	2772	1604	904	28482
Arosa	7352	8232	8142	5380	3251	2528	3403	5560	7350	8202	8026	6896	74322

LITERATUR

- [1] DIRMHORN, J. und F. SAUBERER: Klima und Bioklima von Wien (Wetter und Leben), 1957
- [2] GOETZ, F.W. Paul: Das Strahlungsklima von Arosa, Berlin, 1926
- [3] NICOLET, M.: Ensoleillement et orientation en Belgique I. Institut royal météorologique de Belgique, Mémoires Vol. XXXII, 1949
- [4] NICOLET, M. et L. BOSSY: Ensoleillement et orientation en Belgique II. Institut royal météorologique de Belgique, Vol. XXXVI, 1950
- [5] NICOLET, M. et R. DOGNIAUX: Ensoleillement et orientation en Belgique III. Institut royal météorologique de Belgique, Mémoires Vol. XL, 1950
- [6] SCHRAM, K. und J.C. THAMS: Die kurzwellige Strahlung von Sonne und Himmel auf einen nach Süden orientierten Würfel. Pure and Applied Geophysics, Vol. 66 (1967/I)
- [7] SCHÜEPP, M.: Bewölkung und Nebel. Klimatologie der Schweiz H, 1963
- [8] STEINHAUSER, F.: Der Tages- und Jahresgang der auf die horizontale Ebene und auf verschieden orientierte senkrechte Wände einfallenden Intensität der Sonnenstrahlung in verschiedenen Höhenlagen in Oesterreich. Oesterreichisches Ingenieur-Archiv, Bd. X, Heft 2-3, 1956

