

10

**Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht
an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung**

Von

Karin Schram

Herausgegeben von J.C. Thams, Locarno-Monti

Bisher erschienen

- | | | | |
|--------|---|---|----------|
| Nr. 1a | Uttinger H., | Die Niederschlagsstunden in Zürich. 22 Seiten, 1962 | Fr. 5.50 |
| Nr. 1b | Ambrosetti Fl., | Die Niederschlagsstunden in Locarno-Monti. 12 Seiten, 1965 | Fr. 4.50 |
| Nr. 2 | Thams J.C., | unter Mitarbeit von A. Aufdermaur, P. Schmid und E. Zenone. Die Ergebnisse des Grossversuches III zur Bekämpfung des Hagels im Tessin in den Jahren 1957–1963. 32 Seiten, 1966 | Fr. 5.— |
| Nr. 3 | Grütter M., | Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre 1948–1964 in der Schweiz. 20 Seiten, 1966 | Fr. 4.— |
| Nr. 4 | Schram K. und Thams J.C., | [Redaktion], 9. Internationale Tagung für Alpine Meteorologie in Brig und Zermatt, 14.–17. September 1966. 366 Seiten, 1967 | Fr. 30.— |
| Nr. 5 | Ambrosetti Fl. und Thams J.C., | Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen eines nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche in Locarno-Monti. 16 Seiten, 1967 | Fr. 3.50 |
| Nr. 6 | Schram K. und Thams J.C., | Der Tagesgang der Abkühlungs- und Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti. 20 Seiten, 1968 | Fr. 4.— |
| Nr. 7 | Ambrosetti Fl., Schram K. und Thams J.C., | Die Intensität der direkten Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in Locarno-Monti. 13 Seiten, 1968 | Fr. 3.50 |
| Nr. 8 | Uttinger H. | Die Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens 20 Metern pro Sekunde in Zürich (1934–1967). 22 Seiten, 1968 | Fr. 5.— |
| Nr. 9 | Mäder F. | Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe bei verschiedenen Wetterlagen. 42 Seiten, 1968 | Fr. 7.— |
| Nr. 10 | Schram K. | Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung. 13 Seiten, 1968 | Fr. 4.— |

DIE WINDVERHAELTNISSE IN DER BODENNAHEN LUFTSCHICHT AN EINEM HANG
VON ETWA 25 GRAD NEIGUNG

Von Karin SCHRAM

Osservatorio Ticinese della Centrale Meteorologica Svizzera, Locarno-Monti

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der bioklimatischen Untersuchungen am Osservatorio Ticinese in Locarno-Monti wurden während der drei Jahre von 1965 bis 1967 die Windgeschwindigkeiten auf der Dachterrasse des Institutes und in der bodennahen Luftschicht über einer Wiese registriert. Es zeigt sich, dass in Locarno-Monti orographisch bedingte Winde vorherrschen und die Windgeschwindigkeiten im allgemeinen klein sind. Die Windrichtung dreht sich während des Tages im Uhrzeigersinn mit der Sonne, in der Nacht kommen die Winde vorwiegend aus dem Nordsektor. Die Windgeschwindigkeiten auf der Dachterrasse sind um 50 bis 90% höher als jene auf der Wiese. Im Klima der Alpensüdseite stellen die Winde bioklimatisch betrachtet einen positiven Faktor dar.

RESUME

Dans le cadre des recherches bioclimatiques faites à l'Osservatorio Ticinese de Locarno-Monti, les vitesses du vent sur le toit-terrasse de l'Institut et dans la couche d'air située près du sol, dans un pré, ont été enregistrées pendant la période allant de 1965 à 1967. Il apparaît qu'à Locarno-Monti les vents dominants sont conditionnés par l'orographie et que leurs vitesses sont en général faibles. La direction du vent tourne durant le jour dans le sens des aiguilles d'une montre, alors que, pendant la nuit, les vents soufflent principalement du secteur nord. Les vitesses du vent sur la terrasse sont de 50 à 90% plus élevées que sur le pré. En ce qui concerne le climat du versant sud des Alpes, les vents constituent un facteur positif du point de vue climatique.

RIASSUNTO

Nel quadro delle ricerche bioclimatiche all'Osservatorio Ticinese a Locarno-Monti furono registrate nei tre anni dal 1965 al 1967 le velocità del vento sulla terrazza del tetto dell'Istituto e nello strato d'aria vicino al suolo sul prato. Si constata che a Locarno-Monti predominano i venti condizionati orograficamente e che in generale le velocità del vento sono piccole. La direzione del vento ruota durante il giorno con il sole nel senso delle lancette dell'orologio, la notte i venti provengono in prevalenza dal settore nord. Le velocità del vento sulla terrazza del tetto superano quelle sul prato dal 50 al 90%. Nel clima a sud delle Alpi i venti, considerati dal punto di vista bioclimatico, rappresentano un fattore positivo.

SUMMARY

On the occasion of bioclimatological researches at the Osservatorio Ticinese at Locarno-Monti the wind velocity was recorded on the platform roof of the meteorological Institute and in the air layer near the ground during a three years' period from 1965 to 1967. At Locarno-Monti orographic winds dominate and the wind velocity is in general low during the day. The wind direction turns clockwise with the position of the sun, at night the wind blows mostly from the north. The wind velocity measured on the platform roof is 50 to 90% stronger than near the ground. From the bioclimatological standpoint the occurrence of wind in the climate of the southern slope of the Alps is a positive factor.

I. Einleitung

Als sich zu Beginn unseres Jahrhunderts die neue Wissenschaft der Bioklimatologie zu entwickeln begann, zeigte sich sehr bald, dass die üblichen Messungen und Beobachtungen an den meteorologischen Stationen der Landesnetze zu einem grossen Teil nicht geeignet waren, die Daten zu liefern, aus denen eine zutreffende Beschreibung des Bioklimas eines Ortes oder einer Region gewonnen werden konnte. Nicht nur waren viele zusätzliche Messungen, wie atmosphärische Strahlung, Abkühlungsgrösse, Schwüle, Trübung der Luft, luftelektrische Grössen usw., notwendig, es mussten auch für die Erfassung der normalerweise an meteorologischen Stationen gemessenen Elemente neue Standorte gewählt werden, die geeignet waren, repräsentative Werte für die jeweilige Biosphäre zu liefern. Das galt nicht nur für den Lebensraum des Menschen, sondern in viel stärkerem Masse für Pflanzen und Tiere der bodennahen Luftschicht [2].

Unter den vielen meteorologischen Elementen sind nun die Windverhältnisse für das Bioklima von entscheidender Bedeutung. Der Wind spielt nicht nur eine grosse Rolle im Wärmehaushalt des Menschen (Abkühlungs- und Aufwärmungsgrösse [6]); er beeinflusst auch die Feuchtigkeitsverhältnisse und bestimmt in hohem Masse den Reinheitsgrad der Luft.

Als im vergangenen Jahrhundert die grossen Beobachtungsnetze geschaffen wurden, trachtete man danach, den Wind möglichst ungestört zu messen, sollte er doch nach Richtung und Geschwindigkeit ein Indiz für die grossräumige freie Strömung in der Atmosphäre abgeben, nicht zuletzt für die Zwecke der Wettervorhersage. Bioklimatisch konnten diese Werte aber bestenfalls zur Ableitung eines Turmwächterklimas (LINKE) dienen. Selbstverständlich kann man aus den bekannten Gesetzen der Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe über dem Boden grössenordnungsmässig die Windgeschwindigkeit auch der bodennahen Schichten ableiten, die Beziehung gilt aber nur für weite Ebenen [1], sie versagt in stark kupertem Gelände. Hier ist man ganz auf Messungen angewiesen.

Im Laufe von Untersuchungen über die Abkühlungs- und Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti am Alpensüdfuss [6] sind während mehrerer Jahre an einem nach Süden orientierten Hang die Windstärken in einer Höhe von 1.70 m über dem Boden registriert worden. Diese in der Biosphäre des Menschen festgestellten Daten sollen nun in Beziehung zu den Werten gesetzt werden, wie sie an der meteorologischen Station unseres Institutes, die zum Klimanetz der Schweiz gehört, gemessen werden.

II. Messplatz, Instrumentarium und Messmaterial

Nördlich der auf 200 m ü. M. gelegenen Stadt Locarno erstreckt sich ein bis etwa 1400 m ü. M. ansteigender Hang von ungefähr 25° Neigung. Dieser ist bis etwa 500 m ü. M. besiedelt und in den höheren Lagen mit relativ niedrigem Holz bewaldet. Der Messplatz befindet sich auf dem Areal des Osservatorio Ticinese auf etwa 380 m ü. M., das ein Teil der locker aufgebauten Siedlung von Monti della Trinità ist. Die Messstelle der bodennahen Anemometer stellt eine terrassenartig angelegte Wiese unterhalb der Südfassade des Institutsgebäudes dar, die Windmesstelle der meteorologischen Station ist die Dachterrasse des Institutes. Letztere kann als eine sehr freie Aufstellung betrachtet werden, doch auch jene auf der Wiese ist, den bodennahen Verhältnissen Rechnung tragend, als repräsentativ für eine Hanglage anzusehen. Die horizontale Distanz der Anemometer beträgt etwa 32 m, der Höhenunterschied 21 m. Abbildung 1 zeigt die Standorte der beiden Anemometer im Vertikalschnitt.

Für die Messung der Windgeschwindigkeit wurden Schalenkreuzanemometer der Firma R. Fuess, Berlin, verwendet. Die Kontakte der Anemometer auf der Wiese wurden mit dem bekannten Fuess Chronographen aufgezeichnet (1 Trommelumdrehung = 60 Minuten), die auf dem Dach mit einem modernen Drucker, bei dem das Auszählen der Kontakte pro Stunde wegfällt. Der Schwellenwert der Geschwindigkeit beträgt bei beiden Anemometern nach Eichungen der Firma etwa 0.7 m/sec.

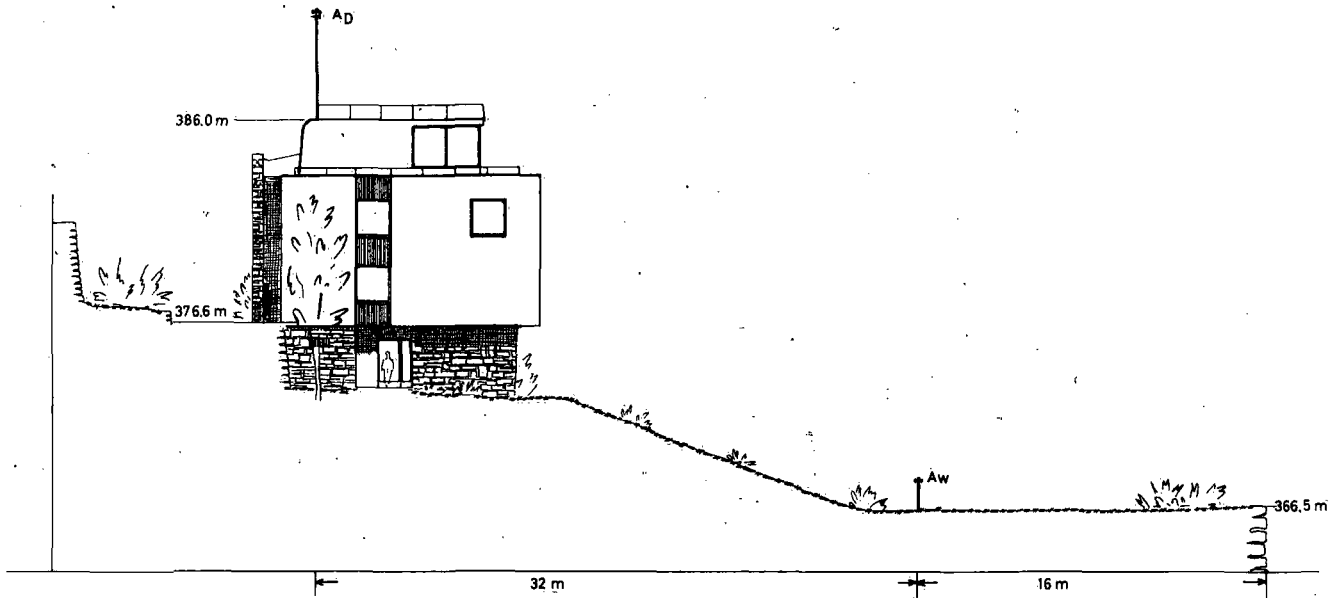


Abb. 1. Die Aufstellung der Anemometer auf der Dachterrasse (Ad) und auf der Wiese (Aw) im Vertikalschnitt in Locarno-Monti.

Die hier bearbeitete Messperiode erstreckt sich vom 1. Januar 1965 bis zum 31. Dezember 1967. Das Registriermaterial ist praktisch lückenlos. Für die Ableitung klimatologischer Mittelwerte ist eine dreijährige Messperiode selbstverständlich zu kurz. Das Ziel dieser Untersuchung bestand aber im wesentlichen darin, die Unterschiede der Windverhältnisse einer ganz freien Aufstellung zu jener der bodennahen Luftschicht herauszufinden, und zwar wurde das Hauptgewicht auf den Tagesgang gelegt, der ja auch bioklimatisch von entscheidender Bedeutung ist. Die Ausgangswerte sind die stündlichen Mittelwerte der Windgeschwindigkeit in m/sec.

III. Ergebnisse

Wie bereits aus der Darstellung des Klimas der Alpensüdseite durch R. BILLWILLER [5] um die Jahrhundertwende hervorgeht, gehört das Tessin zu den windschwachen Regionen der Schweiz, wird es doch durch den Alpenwall sehr oft vor den grossen atlantischen Störungen geschützt. Der steile Abfall der Alpen gegen die Lombardei, die tief eingeschnittenen Täler und der hohe Betrag an Sonnenscheindauer sind ideale Voraussetzungen für die Entstehung zahlreicher orographischer Winde. Neben dem Föhn sind es die Berg-, Tal- und Hangwinde, die das Windregime bestimmen. Starke Winde von längerer Dauer finden sich vornehmlich bei Nordföhnlagen, doch können auch beim Durchgang von Gewitterfronten kurzfristig hohe Windgeschwindigkeiten erreicht werden.

Bevor wir uns mit den Windverhältnissen in der uns interessierenden, bodennahen Luftschicht von etwa 2 m Mächtigkeit befassen, seien hier einige Angaben über die Windverhältnisse an der meteorologischen Station selber gemacht. Wie aus Abbildung 2 und Tabelle 1 hervorgeht, zeigt sich ein ausgeprägter Tagesgang der Windgeschwindigkeit in allen Monaten des Jahres. Mit Sonnenaufgang setzt ein ebenso markanter wie steiler Anstieg ein; zwischen 12 und 15 Uhr wird das Maximum der Windgeschwindigkeit erreicht, die dann im Laufe des Nachmittages und der Nacht langsam abnimmt. Dieser typische Tagesgang, wie auch die Verschiebung des Maximums gegen die frühen Nachmittagsstunden sind seit langem bekannte Erscheinungen, die schon an zahl-

Tabelle 1. Mittlerer monatlicher Tagesgang der Windgeschwindigkeit in m/sec auf der Dachterrasse und auf der Wiese in Locarno-Monti.
Messperiode: Januar 1965 bis Dezember 1967.

| MEZ Monat | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4 | 4-5 | 5-6 | 6-7 | 7-8 | 8-9 | 9-10 | 10-11 | 11-12 | 12-13 | 13-14 | 14-15 | 15-16 | 16-17 | 17-18 | 18-19 | 19-20 | 20-21 | 21-22 | 22-23 | 23-24 | Mittel |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <u>DACHTERRASSE</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 1.37 | 1.43 | 1.37 | 1.36 | 1.41 | 1.35 | 1.37 | 1.40 | 1.31 | 1.25 | 1.47 | 1.81 | 1.98 | 1.97 | 1.94 | 1.78 | 1.52 | 1.54 | 1.61 | 1.55 | 1.48 | 1.51 | 1.48 | 1.41 | 1.53 |
| II | 1.45 | 1.38 | 1.35 | 1.29 | 1.30 | 1.33 | 1.28 | 1.22 | 1.19 | 1.40 | 1.68 | 1.97 | 2.20 | 2.29 | 2.32 | 2.25 | 2.07 | 1.98 | 1.88 | 1.91 | 1.72 | 1.62 | 1.57 | 1.52 | 1.67 |
| III | 1.65 | 1.60 | 1.63 | 1.61 | 1.58 | 1.57 | 1.52 | 1.40 | 1.57 | 1.96 | 2.20 | 2.45 | 2.71 | 2.89 | 3.16 | 2.96 | 2.94 | 2.66 | 2.41 | 2.35 | 2.32 | 2.00 | 1.81 | 1.65 | 2.11 |
| IV | 1.76 | 1.71 | 1.58 | 1.65 | 1.53 | 1.47 | 1.33 | 1.32 | 1.69 | 2.12 | 2.43 | 2.61 | 2.82 | 2.98 | 3.05 | 2.97 | 2.97 | 2.75 | 2.49 | 2.35 | 2.19 | 1.94 | 1.86 | 1.78 | 2.14 |
| V | 1.77 | 1.70 | 1.63 | 1.55 | 1.48 | 1.39 | 1.24 | 1.50 | 1.75 | 1.95 | 2.18 | 2.48 | 2.82 | 3.05 | 3.11 | 2.92 | 2.72 | 2.45 | 2.32 | 2.19 | 2.07 | 2.08 | 1.90 | 1.81 | 2.09 |
| VI | 1.57 | 1.64 | 1.52 | 1.42 | 1.32 | 1.21 | 1.05 | 1.16 | 1.44 | 1.72 | 2.00 | 2.25 | 2.55 | 2.62 | 2.89 | 2.92 | 2.65 | 2.25 | 2.20 | 2.06 | 2.06 | 1.93 | 1.80 | 1.68 | 1.91 |
| VII | 1.65 | 1.61 | 1.51 | 1.41 | 1.38 | 1.31 | 1.06 | 1.23 | 1.49 | 1.77 | 1.98 | 2.18 | 2.53 | 2.64 | 2.62 | 2.54 | 2.34 | 2.10 | 1.92 | 2.11 | 2.04 | 1.92 | 1.71 | 1.67 | 1.86 |
| VIII | 1.53 | 1.45 | 1.40 | 1.46 | 1.41 | 1.42 | 1.19 | 1.36 | 1.61 | 1.81 | 1.98 | 2.15 | 2.32 | 2.61 | 2.65 | 2.47 | 2.23 | 1.98 | 1.99 | 1.98 | 1.71 | 1.65 | 1.66 | 1.57 | 1.82 |
| IX | 1.30 | 1.27 | 1.27 | 1.26 | 1.23 | 1.20 | 1.10 | 0.98 | 1.15 | 1.36 | 1.55 | 1.83 | 2.08 | 2.24 | 2.34 | 2.30 | 2.03 | 1.81 | 1.77 | 1.58 | 1.50 | 1.54 | 1.40 | 1.37 | 1.56 |
| X | 1.17 | 1.16 | 1.16 | 1.20 | 1.21 | 1.16 | 1.14 | 1.04 | 1.10 | 1.34 | 1.55 | 1.78 | 1.77 | 2.02 | 2.20 | 2.08 | 1.74 | 1.62 | 1.51 | 1.41 | 1.31 | 1.22 | 1.18 | 1.20 | 1.43 |
| XI | 1.34 | 1.34 | 1.29 | 1.30 | 1.29 | 1.28 | 1.30 | 1.25 | 1.12 | 1.19 | 1.38 | 1.63 | 1.76 | 1.85 | 1.84 | 1.65 | 1.61 | 1.67 | 1.55 | 1.42 | 1.39 | 1.38 | 1.40 | 1.36 | 1.44 |
| XII | 1.48 | 1.42 | 1.31 | 1.40 | 1.36 | 1.45 | 1.40 | 1.39 | 1.36 | 1.29 | 1.51 | 1.77 | 1.94 | 1.98 | 1.85 | 1.69 | 1.62 | 1.69 | 1.63 | 1.55 | 1.46 | 1.47 | 1.50 | 1.51 | 1.54 |
| Jahr | 1.50 | 1.48 | 1.42 | 1.41 | 1.38 | 1.34 | 1.25 | 1.27 | 1.40 | 1.60 | 1.83 | 2.08 | 2.29 | 2.43 | 2.50 | 2.38 | 2.20 | 2.04 | 1.94 | 1.87 | 1.77 | 1.69 | 1.61 | 1.54 | 1.76 |
| <u>WIESE</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | 0.85 | 0.87 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.82 | 0.86 | 0.85 | 0.81 | 0.76 | 0.87 | 1.01 | 1.12 | 1.08 | 1.11 | 1.02 | 0.91 | 0.95 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.93 | 0.88 | 0.87 | 0.92 |
| II | 0.92 | 0.88 | 0.88 | 0.84 | 0.82 | 0.85 | 0.82 | 0.77 | 0.72 | 0.88 | 1.05 | 1.17 | 1.26 | 1.31 | 1.36 | 1.31 | 1.24 | 1.29 | 1.17 | 1.17 | 1.07 | 1.02 | 0.98 | 0.92 | 1.03 |
| III | 1.00 | 0.95 | 0.97 | 0.94 | 0.94 | 0.91 | 0.91 | 0.80 | 0.92 | 1.12 | 1.26 | 1.38 | 1.51 | 1.58 | 1.70 | 1.64 | 1.67 | 1.56 | 1.47 | 1.43 | 1.36 | 1.12 | 1.05 | 1.00 | 1.22 |
| IV | 1.01 | 0.99 | 0.93 | 0.93 | 0.90 | 0.87 | 0.78 | 0.76 | 1.01 | 1.20 | 1.34 | 1.41 | 1.51 | 1.56 | 1.56 | 1.54 | 1.57 | 1.52 | 1.41 | 1.37 | 1.26 | 1.13 | 1.08 | 1.04 | 1.20 |
| V | 0.99 | 0.96 | 0.94 | 0.89 | 0.87 | 0.82 | 0.72 | 0.88 | 1.02 | 1.08 | 1.22 | 1.39 | 1.53 | 1.59 | 1.62 | 1.53 | 1.45 | 1.39 | 1.34 | 1.26 | 1.18 | 1.17 | 1.12 | 1.06 | 1.17 |
| VI | 0.90 | 0.94 | 0.86 | 0.83 | 0.74 | 0.75 | 0.58 | 0.67 | 0.80 | 0.95 | 1.11 | 1.24 | 1.39 | 1.39 | 1.48 | 1.55 | 1.43 | 1.28 | 1.27 | 1.19 | 1.16 | 1.11 | 1.03 | 0.96 | 1.07 |
| VII | 0.92 | 0.91 | 0.86 | 0.83 | 0.82 | 0.77 | 0.59 | 0.70 | 0.88 | 0.98 | 1.10 | 1.22 | 1.38 | 1.43 | 1.35 | 1.34 | 1.30 | 1.20 | 1.14 | 1.16 | 1.10 | 1.05 | 0.97 | 0.94 | 1.04 |
| VIII | 0.85 | 0.81 | 0.78 | 0.81 | 0.80 | 0.77 | 0.66 | 0.70 | 0.87 | 0.96 | 1.02 | 1.14 | 1.23 | 1.33 | 1.33 | 1.28 | 1.21 | 1.11 | 1.10 | 1.05 | 0.93 | 0.86 | 0.88 | 0.88 | 0.97 |
| IX | 0.77 | 0.74 | 0.73 | 0.75 | 0.72 | 0.74 | 0.66 | 0.53 | 0.70 | 0.81 | 0.91 | 1.07 | 1.16 | 1.28 | 1.31 | 1.26 | 1.15 | 1.08 | 1.01 | 0.92 | 0.84 | 0.87 | 0.81 | 0.80 | 0.90 |
| X | 0.71 | 0.68 | 0.70 | 0.73 | 0.70 | 0.70 | 0.68 | 0.57 | 0.63 | 0.76 | 0.86 | 1.00 | 1.01 | 1.17 | 1.21 | 1.17 | 0.99 | 0.95 | 0.88 | 0.79 | 0.74 | 0.75 | 0.71 | 0.73 | 0.83 |
| XI | 0.83 | 0.84 | 0.78 | 0.82 | 0.81 | 0.81 | 0.80 | 0.78 | 0.70 | 0.70 | 0.84 | 0.98 | 0.99 | 1.06 | 1.04 | 0.96 | 0.98 | 1.03 | 0.93 | 0.87 | 0.82 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.87 |
| XII | 0.92 | 0.88 | 0.83 | 0.88 | 0.87 | 0.94 | 0.87 | 0.86 | 0.82 | 0.77 | 0.90 | 1.00 | 1.09 | 1.13 | 1.07 | 0.99 | 0.97 | 1.03 | 1.00 | 0.94 | 0.90 | 0.93 | 0.91 | 0.91 | 0.93 |
| Jahr | 0.89 | 0.87 | 0.84 | 0.84 | 0.82 | 0.81 | 0.74 | 0.74 | 0.82 | 0.91 | 1.04 | 1.17 | 1.26 | 1.33 | 1.34 | 1.30 | 1.24 | 1.20 | 1.14 | 1.09 | 1.03 | 0.98 | 0.94 | 0.91 | 1.01 |

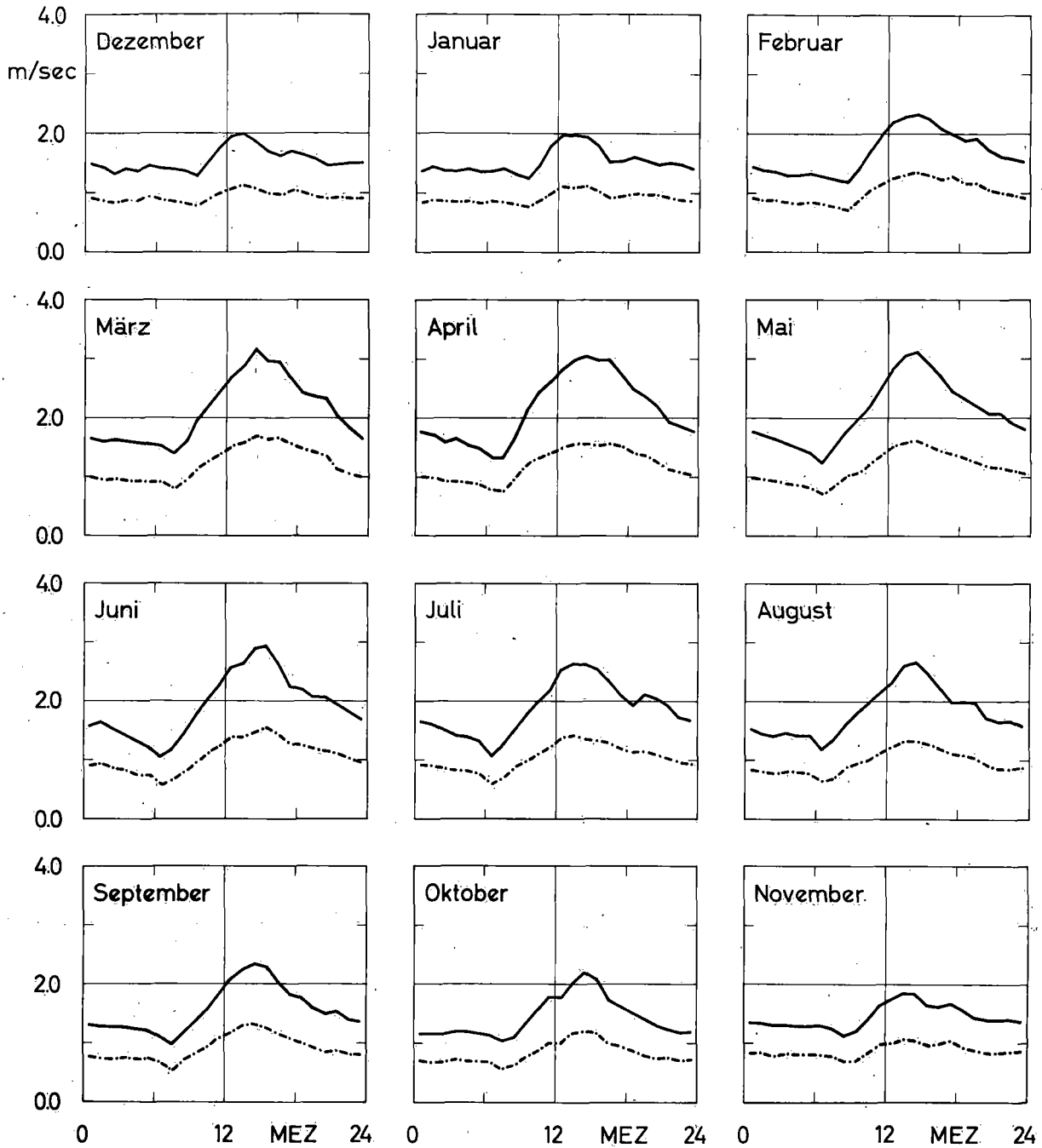


Abb. 2. Mittlere monatliche Tagesgänge der Windgeschwindigkeit auf der Dachterrasse (ausgezogene Kurve) und auf der Wiese (strichpunktierte Kurve) in Locarno-Monti.

reichen Stationen nachgewiesen wurden und für die auch eine Theorie aufgestellt wurde [5]. Es handelt sich dabei im wesentlichen um ein lokales Windsystem, in unserem Falle um eine Hangwindzirkulation. Dies zeigt sich auch, wenn man die Windrosen der Richtungen genauer betrachtet.

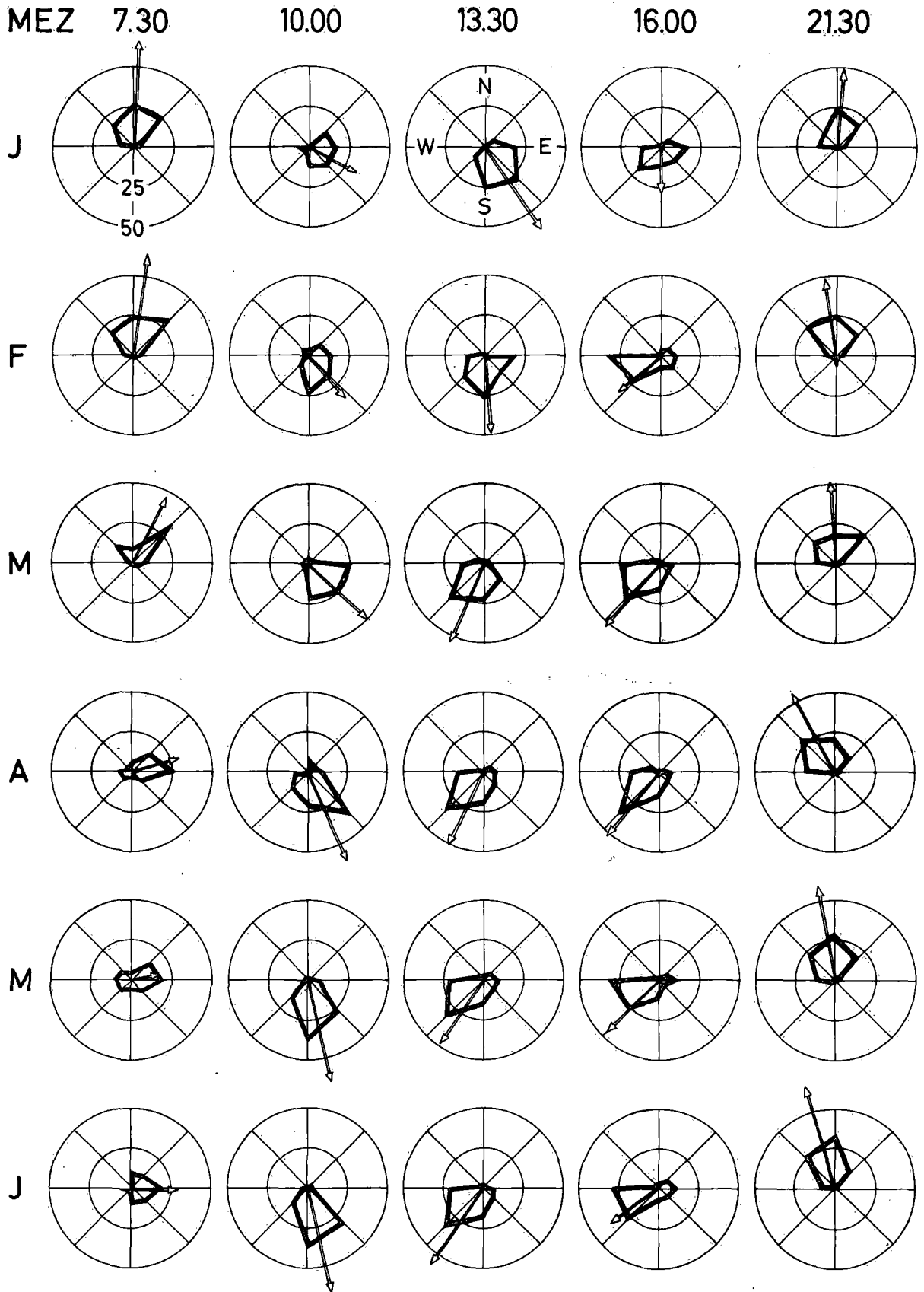


Abb. 3. Mittlere monatliche Windrosen (%) und die resultierenden Windrichtungen an den Beobachtungsterminen 7.30 Uhr, 10.00 Uhr, 13.30 Uhr, 16.00 Uhr und 21.30 Uhr für die Monate Januar bis Juni, gemessen auf der Dachterrasse in Locarno-Monti.

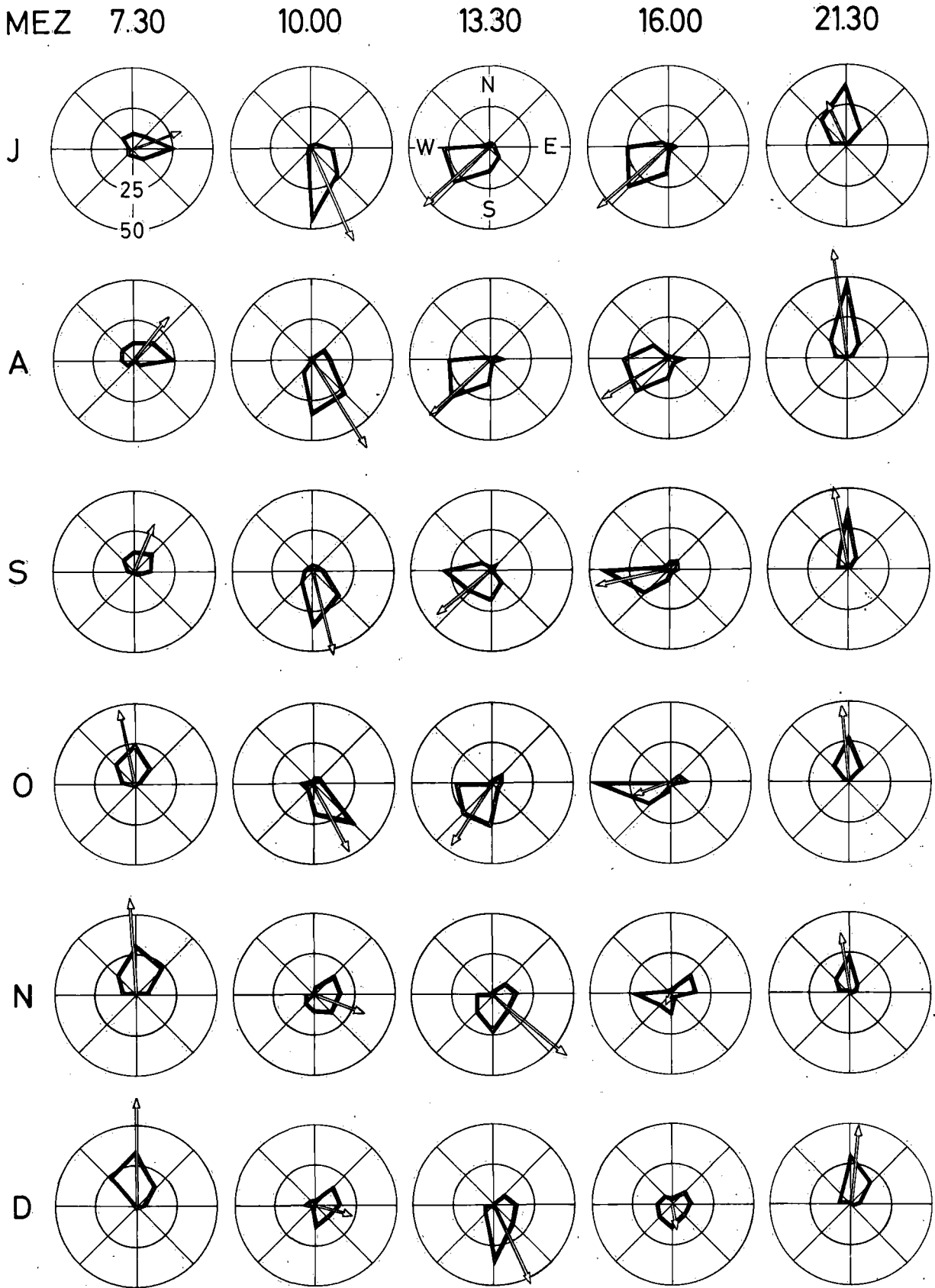


Abb. 4. Mittlere monatliche Windrosen (%) und die resultierenden Windrichtungen an den Beobachtungsterminen 7.30 Uhr, 10.00 Uhr, 13.30 Uhr, 16.00 Uhr und 21.30 Uhr für die Monate Juli bis Dezember, gemessen auf der Dachterrasse in Locarno-Monti.

In den Abbildungen 3 und 4 sind zunächst für die Termine 7.30, 10.00, 13.30, 16.00 und 21.30 Uhr MEZ (Termine für synoptische, bzw. klimatologische Beobachtungen) die Windrosen und die resultierenden Windrichtungen für jeden Monat dargestellt. Daraus geht zweierlei hervor: Einmal scheint während eines Tages eine volle Drehung des Windes im Uhrzeigersinn stattzufinden; in den nächtlichen Stunden kommt der Wind aus dem Nordsektor, wandert über den Ost- zum Südsektor, aus dem er um die Mittagszeit kommt, weht am Nachmittag aus Westen und am Abend wieder aus Norden. Die andere auffällige Erscheinung besteht darin, dass mit dem länger werdenden Tag der Wind beim ersten Termin am Morgen nicht aus Norden, sondern aus Osten weht. Da die Zeiten zwischen den einzelnen Terminen verschieden lang sind und von den Nachtstunden überhaupt keine Beobachtungen vorliegen, wurden anhand der Registrierungen eines Universalwind-schreibers nach Fuess für einen Winter- und einen Sommermonat die Windrosen für jede Stunde bestimmt. Das Ergebnis ist in der Abbildung 5 dargestellt, in der der Tagesgang der resultierenden Windrichtung aufgezeichnet ist. Es bestätigt in vollem Masse die Vermutung, dass der Wind

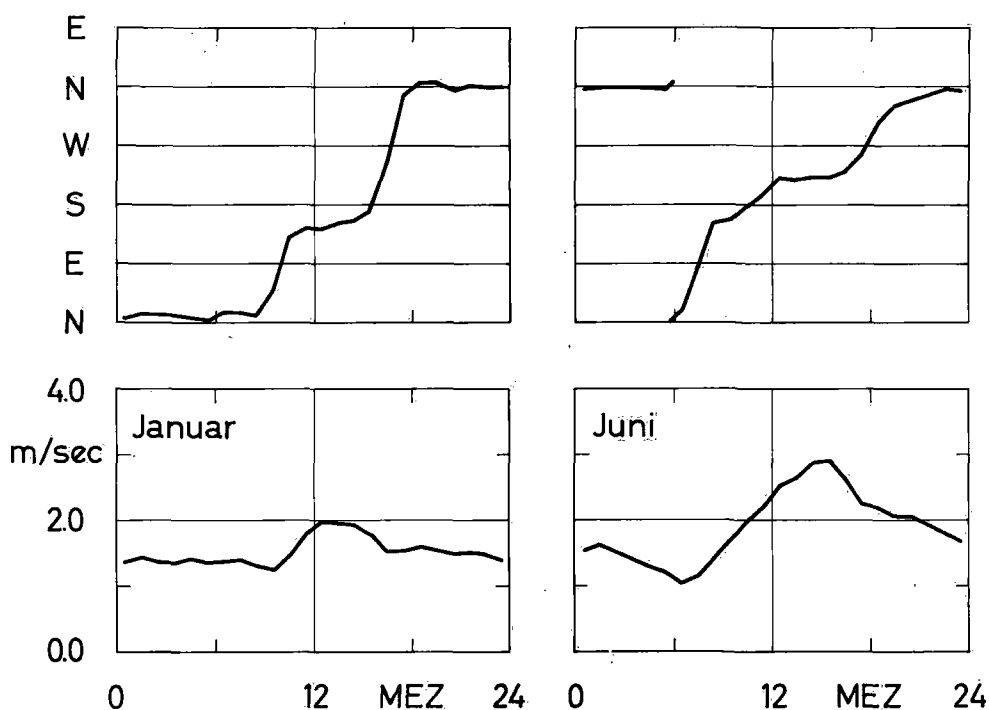


Abb. 5. Mittlerer monatlicher Tagesgang der Windrichtung (oben) und der Windgeschwindigkeit (unten) für die Monate Juni und Dezember, gemessen auf der Dachterrasse in Locarno-Monti.

im Uhrzeigersinn kreist. Aus der Lage der resultierenden Windrichtung ersieht man auch, dass es sich hier nicht um eine kontinuierliche Drehung handelt. Die Verweilzeit ist in den verschiedenen Sektoren ganz verschieden lang. Während der Nacht kommt der Wind praktisch immer aus dem Nordsektor und erst nach Sonnenaufgang beginnt die Drehung nach Osten, dann über Süden nach Westen bis zum Sonnenuntergang. Daraus geht der Einfluss der Dauer der täglichen Sonnenbestrahlung klar hervor: im Dezember kommt der Wind zwischen ca. 18 und 8 Uhr aus der Nordrichtung, im Juni zwischen 20 und 6 Uhr. Offensichtlich handelt es sich hier um zwei sich ablösende Windsysteme, um den nächtlichen Fallwind, im Tessin nennt man ihn tramontana, und um den tagsüber wehenden Hangaufwind. Diese beiden Windsysteme setzen sich, wie auch J. KNUDSEN für Norwegen nachweisen konnte [4], praktisch bei allen Wetterlagen durch, sind also nicht nur an schönes

Wetter gebunden. Bei wolkenlosem Himmel sind sie allerdings besonders gut ausgeprägt, wie Abbildung 6 zeigt; die Amplitude der Tagesschwankung der Windgeschwindigkeit ist dann am grössten.

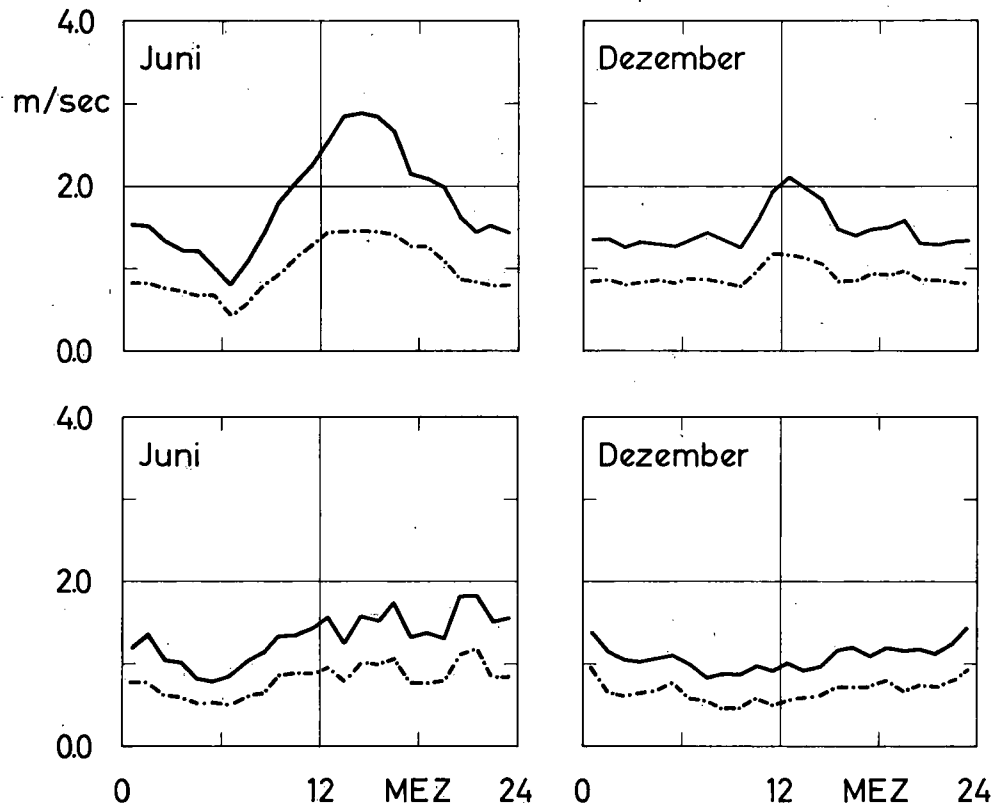


Abb. 6. Mittlerer Tagesgang der Windgeschwindigkeit an wolkenlosen Tagen (oben) und an bedeckten Tagen (unten) für die Monate Juni und Dezember auf der Dachterrasse (ausgezogene Kurven) und auf der Wiese (strichpunktierte Kurven) in Locarno-Monti.

An Tagen mit bedecktem Himmel ist der Tagesgang fast vollkommen unterdrückt, der Hangwind bildet sich dann praktisch nicht aus.

Im ganzen betrachtet sind die Winde in Locarno-Monti ausserordentlich schwach, der Tagesdurchschnitt schwankt während eines Jahres von 1.40 m/sec bis 2.15 m/sec (Tabelle 1), die stündlichen Maximalwerte erreichen kaum 10 m/sec. Die höchsten Stundenmittelwerte, die in den hier vorliegenden drei Jahren in den einzelnen Monaten gemessen wurden, sind in Tabelle 2 aufgeführt. Aus dieser Zusammenstellung ist auch ersichtlich, bei welchen meteorologischen Verhältnissen diese maximalen Windgeschwindigkeiten auftraten: entweder herrschte Nordföhn oder eine Front, verbunden mit Gewittern, passierte die Station.

Die Windgeschwindigkeiten in der zwei Meter mächtigen bodennahen Schicht zeigen einen ganz ähnlichen Verlauf des Tagesganges wie jene auf der Dachterrasse, doch sind die Werte ganz erheblich reduziert (Abbildung 2). Bildet man den Quotienten aus diesen beiden Geschwindigkeiten, so erhält man die Werte der Tabelle 3. Die mittlere stündliche Windgeschwindigkeit auf der Dachterrasse ist zwischen 50% und 95% höher als jene auf der Wiese. Die Quotienten zeigen einen charakteristischen Tagesgang mit hohen Werten in den ersten Nachmittagsstunden und tiefen am Abend

Tabelle 2. Die stündlichen Maximalwerte der Windgeschwindigkeit [m/sec] mit Angabe der Windrichtung und des herrschenden Wetters in den einzelnen Monaten der Periode 1965 bis 1967 auf der Dachterrasse und auf der Wiese in Locarno-Monti (Nf: Nordföhn, F: Front, ⚡ : Gewitter).

| Monat | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | |
|-------------------------------|----------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Datum | 13. | 15. | 29. | 18. | 19. | 17. | 5. | 15. | 6. | 29. | 16. | 11. | |
| Jahr | 1966 | 1965 | 1966 | 1965 | 1965 | 1965 | 1965 | 1966 | 1967 | 1967 | 1966 | 1965 | |
| Tageszeit (MEZ) | 11-12 | 12-13 | 8-9 | 16-17 | 4-5 | 12-13 | 14-15 | 14-15 | 21-22 | 11-12 | 18-19 | 17-18 | |
| Windgeschwindigkeit [m/sec] | Terrasse | 7.6 | 6.1 | 7.2 | 6.4 | 9.4 | 7.7 | 7.4 | 8.4 | 6.2 | 7.3 | 6.0 | 8.1 |
| | Wiese | 4.1 | 3.8 | 4.9 | 4.2 | 3.7 | 4.5 | 4.0 | 4.1 | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 4.2 |
| Quotient | 1.85 | 1.60 | 1.49 | 1.52 | 2.54 | 1.71 | 1.85 | 2.05 | 2.00 | 2.43 | 2.00 | 1.93 | |
| Windrichtung | E | W | W | W | S | W | W | NW | NW | NW | N | N | |
| Wetter | Nf | Nf | Nf | Nf | F+ ⚡ | Nf | | F+ ⚡ | ⚡ | F+ ⚡ | Nf | Nf | |

Tabelle 3. Tagesgang des Quotienten der mittleren monatlichen Windgeschwindigkeit auf der Dachterrasse und jener auf der Wiese in Locarno-Monti (Messperiode: Januar 1965 bis Dezember 1967).

| Monat MEZ | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | Jahr |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0- 1 | 1.61 | 1.58 | 1.65 | 1.74 | 1.79 | 1.74 | 1.80 | 1.80 | 1.69 | 1.65 | 1.62 | 1.61 | 1.69 |
| 1- 2 | 1.64 | 1.57 | 1.68 | 1.73 | 1.77 | 1.74 | 1.77 | 1.79 | 1.72 | 1.71 | 1.60 | 1.61 | 1.69 |
| 2- 3 | 1.59 | 1.54 | 1.68 | 1.70 | 1.73 | 1.78 | 1.76 | 1.80 | 1.74 | 1.66 | 1.65 | 1.58 | 1.68 |
| 3- 4 | 1.60 | 1.54 | 1.71 | 1.77 | 1.74 | 1.71 | 1.70 | 1.80 | 1.68 | 1.64 | 1.59 | 1.59 | 1.67 |
| 4- 5 | 1.64 | 1.59 | 1.68 | 1.70 | 1.70 | 1.78 | 1.68 | 1.76 | 1.71 | 1.73 | 1.59 | 1.56 | 1.67 |
| 5- 6 | 1.65 | 1.57 | 1.72 | 1.69 | 1.70 | 1.61 | 1.70 | 1.85 | 1.62 | 1.66 | 1.58 | 1.54 | 1.66 |
| 6- 7 | 1.59 | 1.56 | 1.67 | 1.71 | 1.72 | 1.81 | 1.80 | 1.80 | 1.67 | 1.68 | 1.63 | 1.61 | 1.68 |
| 7- 8 | 1.65 | 1.59 | 1.75 | 1.74 | 1.70 | 1.75 | 1.76 | 1.94 | 1.85 | 1.82 | 1.60 | 1.62 | 1.72 |
| 8- 9 | 1.62 | 1.65 | 1.71 | 1.67 | 1.71 | 1.80 | 1.70 | 1.85 | 1.64 | 1.75 | 1.60 | 1.66 | 1.70 |
| 9-10 | 1.65 | 1.59 | 1.75 | 1.77 | 1.80 | 1.81 | 1.81 | 1.89 | 1.68 | 1.76 | 1.70 | 1.68 | 1.75 |
| 10-11 | 1.69 | 1.60 | 1.79 | 1.81 | 1.79 | 1.80 | 1.80 | 1.94 | 1.70 | 1.80 | 1.64 | 1.68 | 1.75 |
| 11-12 | 1.78 | 1.68 | 1.77 | 1.85 | 1.79 | 1.81 | 1.79 | 1.88 | 1.71 | 1.78 | 1.66 | 1.77 | 1.78 |
| 12-13 | 1.77 | 1.74 | 1.80 | 1.87 | 1.84 | 1.83 | 1.83 | 1.89 | 1.79 | 1.75 | 1.78 | 1.78 | 1.81 |
| 13-14 | 1.82 | 1.75 | 1.83 | 1.91 | 1.92 | 1.88 | 1.85 | 1.96 | 1.75 | 1.73 | 1.75 | 1.75 | 1.83 |
| 14-15 | 1.75 | 1.70 | 1.86 | 1.95 | 1.92 | 1.95 | 1.94 | 1.99 | 1.79 | 1.82 | 1.77 | 1.73 | 1.85 |
| 15-16 | 1.74 | 1.72 | 1.80 | 1.93 | 1.91 | 1.88 | 1.90 | 1.93 | 1.82 | 1.78 | 1.72 | 1.71 | 1.83 |
| 16-17 | 1.67 | 1.67 | 1.76 | 1.89 | 1.87 | 1.85 | 1.80 | 1.93 | 1.76 | 1.76 | 1.64 | 1.67 | 1.78 |
| 17-18 | 1.62 | 1.53 | 1.70 | 1.82 | 1.76 | 1.76 | 1.75 | 1.78 | 1.67 | 1.71 | 1.62 | 1.64 | 1.70 |
| 18-19 | 1.64 | 1.61 | 1.64 | 1.77 | 1.73 | 1.73 | 1.68 | 1.81 | 1.75 | 1.72 | 1.67 | 1.63 | 1.70 |
| 19-20 | 1.60 | 1.63 | 1.64 | 1.72 | 1.74 | 1.73 | 1.82 | 1.88 | 1.72 | 1.79 | 1.63 | 1.65 | 1.69 |
| 20-21 | 1.53 | 1.61 | 1.70 | 1.74 | 1.75 | 1.78 | 1.85 | 1.84 | 1.79 | 1.77 | 1.70 | 1.62 | 1.72 |
| 21-22 | 1.62 | 1.59 | 1.67 | 1.72 | 1.78 | 1.74 | 1.83 | 1.92 | 1.77 | 1.63 | 1.63 | 1.58 | 1.72 |
| 22-23 | 1.68 | 1.60 | 1.72 | 1.72 | 1.70 | 1.75 | 1.76 | 1.89 | 1.73 | 1.66 | 1.65 | 1.65 | 1.71 |
| 23-24 | 1.62 | 1.65 | 1.65 | 1.71 | 1.71 | 1.75 | 1.78 | 1.78 | 1.71 | 1.64 | 1.60 | 1.65 | 1.69 |

oder frühen Morgen. Ein solcher Tagesgang folgt schon aus dem logarithmischen Verlauf der Zunahme der Windgeschwindigkeit mit der Höhe; er wird aber bei der hier beschriebenen Aufstellung wahrscheinlich noch verstärkt durch den terrassenförmigen Aufbau des Hanges. Das Anemometer auf der Wiese ist etwa 16 m von der Kante der Wiesenterrasse entfernt, die ein Abheben der Winde aus südlicher Richtung bewirkt. Die Stärke der tramontana wird durch diesen Aufbau des Hanges weniger beeinflusst, da es sich im wesentlichen um ein Abgleiten von kalten Luftmassen dem Gelände entlang handelt. Das Anemometer auf der Wiese wird also gegenüber jenem auf der Dachterrasse um die Mittagszeit eine viel kleinere Windgeschwindigkeit registrieren als in der Nacht.

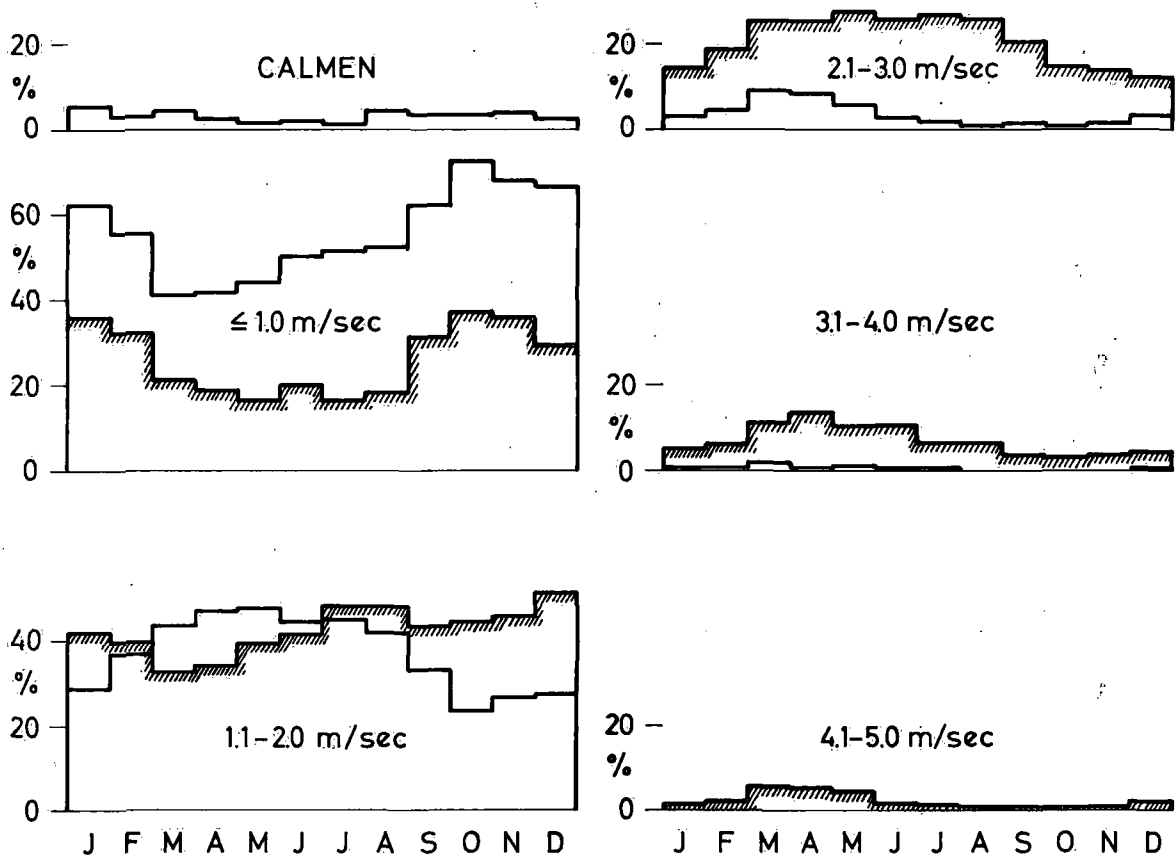


Abb. 7. Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit der Windgeschwindigkeit (%) in den Klassen: Calmen, ≤ 1.0 m/sec, 1.1 - 2.0 m/sec, 2.1 - 3.0 m/sec, 3.1 - 4.0 m/sec, 4.1 - 5.0 m/sec und ≥ 5.1 m/sec auf der Dachterrasse (schraffierte Kurven) und auf der Wiese (glatte Kurven) in Locarno-Monti.

Obwohl die Monatsmittelwerte der mittleren stündlichen Windgeschwindigkeiten (Tabelle 1) vom bioklimatischen Standpunkt aus betrachtet wichtige Grössen sind, kann das Windregime eines Ortes doch nur dann vollständig beschrieben werden, wenn man die Häufigkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten miteinbezieht. Zu diesem Zweck wurden für beide Aufstellungsorte neben den Calmen die Häufigkeiten folgender Klassen gebildet:

| | | |
|--------|-----------|-------|
| \leq | 1.0 | m/sec |
| | 1.1 - 2.0 | m/sec |
| | 2.1 - 3.0 | m/sec |
| | 3.1 - 4.0 | m/sec |
| | 4.1 - 5.0 | m/sec |
| \geq | 5.1 | m/sec |

In der Abbildung 7 sind die Jahressgänge der Häufigkeiten in den einzelnen Klassen dargestellt. Auf der Dachterrasse treten eine Stunde lang andauernde Calmen praktisch nie auf. Auch auf der Wiese sind diese nicht sehr häufig; sie sind hier ziemlich gleichmässig über das Jahr verteilt. Kleine Windgeschwindigkeiten sind in den Herbst- und Wintermonaten häufiger als im Frühjahr und Sommer, was sowohl auf der Dachterrasse, als auch auf der Wiese gilt. In der Klasse 1.1 bis 2.0 m/sec finden wir für die Terrasse keinen ausgeprägten Jahressgang der Häufigkeit, dieser tritt erst wieder bei höheren Windgeschwindigkeiten stärker hervor, mit einem Maximum in den Frühjahrs- und Sommermonaten, da in diesen Jahreszeiten Nordföhn, bzw. Gewitterfronten öfters auftreten. Während auf der Dachterrasse die Stärke 1.1 bis 2.0 m/sec am häufigsten vorkommt, dominiert auf der Wiese die Geschwindigkeitsklasse ≤ 1.0 m/sec, die in den Wintermonaten sogar 60 bis 70% aller Fälle enthält. Auch auf der Wiese treten hohe Windgeschwindigkeiten vornehmlich im Frühjahr und Sommer auf, die Werte grösser als 3.1 m/sec gehören hier allerdings zu den seltenen Ereignissen.

Welche Bedeutung haben nun die hier dargestellten Werte für die Bioklimatologie? Der Anspruch, den das Klima an das Wärmeregulationsvermögen des Menschen stellt, wird in starkem Masse durch die Windgeschwindigkeit bestimmt. Aus diesem Grunde hat man, wenn die anderen meteorologischen Verhältnisse ähnlich waren, für Kurzwecke stets den Orten mit kleinen Windstärken den Vorzug gegeben. Einmal ist dort die Gefahr von Erkältungskrankheiten kleiner, zum anderen können aber auch gewisse Behandlungen, wie z.B. Heliotherapie, mit Erfolg nur in wind-schwachen Gebieten durchgeführt werden. Das gilt vor allem für die Hochgebirgsregionen. An den Orten allerdings, die durch hohe Lufttemperaturen, grosse relative Feuchte und durch Reichtum an Sonnenschein ausgezeichnet sind, an denen zu bestimmten Zeiten des Jahres statt der Abkühlung eine Aufwärmung des menschlichen Körpers stattfindet [6] oder gar Schwüle herrscht, ist der Wind ein wichtiger Regulationsfaktor. Doch nicht nur die Stärke des Windes ist hier von Bedeutung, sondern auch seine Richtung. Die tramontana, die bald nach Sonnenuntergang einsetzt, transportiert relativ trockene und kühle Luftmassen aus den höheren Berglagen in die Täler und verhindert so das Aufkommen von Schwüle in der Nacht. Dagegen bringt der Hangaufwind warme und unter Umständen auch mit Aerosol angereicherte Luftmassen in höhere Schichten.

Bei einer Klassifikation der Orte für Zwecke der Erholung und der Kur würde man heute angesichts der zunehmenden künstlichen Verunreinigung der Luft wohl andere Masstäbe als früher anlegen. Zwar vernichtet der Wind das Aerosol nicht, er setzt aber bei der Durchmischung und beim Antransport relativ reiner Luftmassen dessen Konzentration ganz erheblich herab. So hat der Wind, wenn er nicht zu grosse Stärken erreicht, eine durchaus positive Funktion bei der Gestaltung der bioklimatischen Verhältnisse. Das Klima am Alpensüdhang würde ohne die orographischen Winde in der warmen Jahreszeit oft subtropischen Charakter annehmen.

LITERATUR

- [1] BÖER, W.: Technische Meteorologie. Leipzig 1964
- [2] GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig, 1961
- [3] HANN-SUERING: Lehrbuch der Meteorologie, zweiter Band, 5. Auflage. Leipzig 1951
- [4] KNUDSEN, J.: Local and synoptic meteorological investigations of the mountain and valley wind system. Part II: Mountain and valley winds from a synoptical point of view. Forsvarets Forskningsinstitut, Intern Rapport K - 242, 1961
- [5] MAURER, J., BILLWILLER, R. und HESS, Cl.: Das Klima der Schweiz. 1. Band. Frauenfeld 1909
- [6] SCHRAM, K. und THAMS, J.C.: Der Tagesgang der Abkühlungs- und Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Nr. 6, 1968

