

KALTLUFTSEEN IN DEN DOLINEN

von R. WAGNER

Summary: In the drainless hollows of the surface, so for instance especially in the dolines of limestone hills, particularly on clear, windless nights, a pond of cold air forms. The cold air accumulates at the bottom of the dolines and on gentle slopes. In the case of near-surface fog formed in a doline the coldest air layer is found in the upper level of the fog. Under similar weather conditions the development of the cold air pond depends on the dimensions relative depth, and vegetation of the doline. The cold air pond develops owing to the shading of the W slope, flowing down of the cold air, and then shading of the doline bottom, while outgoing radiation also plays a role.

Zusammenfassung: In den abflußlosen Vertiefungen, so besonders in den Dolinen der Kalksteinberge entsteht jede Nacht, vor allem an heiteren windstillen Nächten, ein Kaltluftsee. Die Kaltluft häuft sich am Dolinengrund und auf sanften Hängen an. Im Falle von in der Doline entstandenem bodennahem Nebel ist die kälteste Luftschicht im oberen Niveau des Nebels zu finden. Unter gleichen Wetterverhältnissen hängt die Entstehung des Kaltluftsees von der Ausdehnung, der relativen Tiefe und der Vegetation der Doline ab. Der Kaltluftsee entsteht infolge der Beschattung des W-Hanges, des Hinabsickerns der Kaltluft und dann der Beschattung des Dolinengrundes, wobei auch die Ausstrahlung eine Rolle spielt.

Mikroklimatologische Untersuchungen wurden in Ungarn unter der Wirkung der Arbeit von R. GEIGER „Das Stationsnetz zur Untersuchung der bodennahen Luftschicht“ schon im Jahre 1927 begonnen. Das Geographische Institut der Universität Szeged hat in Nagykovács, Királyhalom Szarvas und Szeged in 5, 50, 100 und 150 cm Höhe über der Rasenoberfläche eine Serie der sog. Six-Lindenlaub'schen Maximum—Minimumthermometer angebracht und die Beobachtungen wurden Jahre hindurch ausgeführt. Einen weiteren Impuls erhielten die mikroklimatologischen Untersuchungen durch das im Jahre 1927 veröffentlichte grundlegende Werk R. GEIGERS, welches zur Anerkennung eines neuen Zweiges der Klimatologie geführt hatte.

Die Bedeutung der Mikroklimatologie innerhalb der Botanik wurde seitens der ungarischen Botaniker rechtzeitig erkannt und R. Soó hat bereits in 1929 und 1933 von eigenen Beobachtungen berichtet.

In Mittel-Europa wurde die tiefste Temperatur in einer Seehöhe von 1270 m im österreichischen Kalkgebirge in der Doline Gstettneralm bei Lunz a.S. durch WILHELM SCHMIDT gemessen. Außer dem Extremwerte von $-52,6^{\circ}$ wurden in dieser 150 m tiefen Doline in der Zeit von 1928 bis 1942 am Dolinenboden 27-mal Temperaturen unter $-40,0$ und 9-mal Temperaturen unter $-50,0$ gemessen.

Unter dem Einfluß der Methoden und der Ergebnissen W. SCHMIDTS

(1930, 1931) haben N. BACSÓ und B. ZÓLYOMI (1934) an der B ü k k—Hochfläche, in den Dolinen des N a g y m e z ő, in der Zeit vom 8. bis 23. August 1934 Untersuchungen mittels der folgenden Instrumenten ausgeführt: Luft- und Bodenthermometer, Minimumthermometer, Aspirationspsychrometer, Haarhygrometer und Piche'scher Verdunstungsmesser. Obwohl nur eine geringe Zahl von Instrumenten zur Verfügung stand, wurden Beobachtungen an mehreren Stationen ausgeführt; so in 775 m Seehöhe NN des eigentlichen Niveaus des N a g y m e z ő, an den in 766 m und 763 m Seehöhe NN liegenden Dolinenböden, und auch in einer Wasserschlunde (in 761 m Seehöhe NN), sowie an einem Felsenabhang in südlicher Exposition (770 m NN) und in nördlicher Exposition (Seehöhe 783 m NN), und weiter in einem Buchenbestand (890 m NN) und bei der klimatologischen Station in B á n k ú t (880 m NN). Zu Vergleichszwecken wurden die Stationen des klimatologischen Landesbeobachtungsnetzes B á n k ú t und E g e r herangezogen.

Als eines der Ergebnisse dieser Beobachtungsreihe konnten am 17., 18., 20., 21., und 22. August Lufttemperaturen unterhalb 0° nicht nur am Dolinenboden, sondern mit der Ausnahme des 20. August auch im Niveau des N a g y m e z ő verzeichnet werden. Die geringste Temperatur betrug am 17. August vor Sonnenaufgang in der einen Doline $-3,8^{\circ}$, in der anderen $-3,5^{\circ}$ und im Niveau des N a g y m e z ő $-2,5^{\circ}$.

Derartig tiefe Temperaturen wurden in Ungarn im Laufe des Sommers noch niemals gemessen. Die Verfasser meinen, *in den Dolinen der B ü k k—Hochfläche den kältesten Ort des Landes gefunden zu haben und nach ihrer Ansicht besteht wohl die Möglichkeit, daß in den Dolinen der Nagymező in irgendwelchem Monat des Jahres ein Frost auftreten dürfte*. Beide dieser Annahmen sind wahrscheinlich stichhaltig, und die zweite kann als erwiesen betrachtet werden, namentlich wurde in den letzteren Jahren auf Grund von Beobachtungen, welche in den Dolinen während der Vegetationsperiode durchgeführt wurden, festgestellt, daß in antizyklonalen Lagen die Temperatur am Dolinenboden unter dem Gefrierpunkte gesunken war. So z.B. beobachtete FUTÓ (1962) in einer 18 m tiefen Doline des N a g y m e z ő (in 755 m NN) am 7. Juli 1961 eine Temperatur von $-7,8^{\circ}$ im 5-cm-Niveau über der Oberfläche. In der selben Doline, welche durch BACSÓ und ZÓLYOMI einmal schon untersucht wurde, konnte am 29. August 1958 in 5 cm Höhe über den Dolinenboden eine Temperatur von $-5,4^{\circ}$ gemessen werden (WAGNER, 1963).

Die Minima der Lufttemperatur, welche an den Seiten und am Rande der Dolinen gemessen wurden, waren in jedem Falle höher als die am Dolinenboden; hieraus folgt, daß diese im Sommer beobachteten Extremwerten einen Beweis für die Existenz der sich in den Dolinen ausbildenden Kaltluftseen liefern.

Die Dolinen bilden eine charakteristische Formation der Kalksteingebirge, und haben zur Folge die Ausgestaltung von Kaltluftseen, indem dieselben geschlossene Gebilde darstellen, aus welchen die angehäuften kalten Luft keinen Abfluß findet. Die Forscher, die sich mit der Ausbildung der Kaltluftseen befassen, stimmen miteinander überein in der Auffassung, daß das Terrain abflußlos sein muß, obwohl es einige unter ihnen gibt, die mit der Auffassung nicht einverstanden sind, daß die sich an den Gipfeln und an den Hängen abkühlende Luft nach den unteren Teilen der Becken abfließen müsse. SAUBERER und DIRMHORN (1953, 1956) haben gerade auf Grund ihrer Untersuchungen in der Doline Gstettneralm festgestellt, daß der am Hange

abfließenden Luft keine *wesentliche* Rolle zukommt und ersehen die Erklärung der extrem niedrigen Temperaturen in der Ausstrahlung. BERG (1951) betrachtet die Ausbildung des Kaltluftsees ebenfalls als unabhängig vom Kaltluftabfluß am Hange, zumal nach diesem Verfasser die am Hange abfließende Luft eine höhere Temperatur beibehält und es kann sogar eine adiabatische Erwärmung derselben angenommen werden.

Andere Forscher, wie hierzulande G. ENDRÓDI (1961, 1962, 1964) sind der Ansicht, daß außerhalb der Ausstrahlung auch dem Abflusse der kalten Luft entlang des Hanges eine Rolle zukommt. Dies wurde durch G. ENDRÓDI aus den in den Jahren 1959 und 1962 in Tihany ausgeführten Messungen belegt.

Es gibt keinen Zweifel darüber, daß bei der Ausbildung des Kaltluftsees eine wesentliche Rolle der Horizonteinschränkung zukommt, bei der Erwärmung ist dagegen die Exposition nach verschiedenen Himmelsrichtungen von Wichtigkeit. Die Hauptachsen der Dolinen im Bükk—Gebirge liegen annähernd in der Richtung W—E und als ein charakteristischer Umstand muß es angesehen werden, daß die nach E exponierten Hänge steil, hingegen die nach W exponierten Hänge weniger steil sind. Die nach S exponierten Hänge sind weniger gegliedert, die nach N exponierten sind recht wechselvoll, besitzen in vielen Fällen Einsenkungen, und es gibt auch steil hervorragende Felsenklippen. Am Hange an der westlichen Seite (d. h. mit Exposition nach E) finden wir meistens auch herausragende Felsen. Die Elongation der Sonne und die verschieden orientierten und verschieden steilen Hänge der Doline führen zu einer abwechslungsreichen Gestaltung der Erwärmung und der Abkühlung der Doline. Die Folge ist, daß im Sommer die Hänge an der Nordseite zuerst eine direkte Einstrahlung genießen, und folglich ist dies die Stelle, wo die Erwärmung des Luftraumes der Doline einsetzt und für eine kurze Zeit ist dies der wärmste Teil der Doline. In der Hosszúbércer Doline wurde am 22. August 1959 schon um 6^h beobachtet, daß bereits die E, NE und N Hänge die wärmsten sind. Zu dieser Zeit besitzt der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen an diesen Hängen einen um 15—20° höheren Wert, als an einer horizontalen Fläche, an den südlichen und südwestlichen Seiten ist aber dieser Wert um einige Grade geringer. In der Zeit von 8^h bis 12^h ist der Dolinenboden am wärmsten, dann wird der östliche Teil der Doline der wärmste. In der WNW—ESE gerichteten Achse der Doline ist die kälteste Luft am Boden zu finden und von hier gegen Norden und Süden gibt es um einige Grade höhere Temperatur (WAGNER, 1963).

Durch die im Laufe des Tages erfolgende Erwärmung der verschieden exponierten Hänge werden die Lufttemperaturverhältnisse im Luftraum der Doline sehr wechselvoll gestaltet. Dazu kommt noch die Schattenwirkung, die von Süden her durch den mit einem Buchenbestande bedeckten Berg Hosszúbérc und von Westen her durch der Wand der Doline hervorgerufen wird. Der Waldrand gelangt schon um 8^h30^m in Schatten, dann wird der südwestliche und später der westliche Teil der Doline beschattet und ab 13^h45^m erhält auch der Dolinenboden nur mehr eine Streustrahlung. In den beschatteten Gebieten verändert sich die Strahlungsbilanz und die Ausstrahlung übernimmt die Oberhand. Im oberen Drittel des nach N exponierten Hanges erreicht der vertikale Temperaturgradient um 11^h schon einen negativen Wert, und dieser Zustand erstreckt sich um 12^h schon auf die obere Hälfte des Hanges, und um 14^h besteht er schon in der ganzen Länge des Hanges und auch auf dem Hange mit Exposition nach E.

An diesen Hängen ist die Luftschicht schon von 7—8^a ab kühler als am Dolinenboden und bis 12^a erreichen die Temperaturunterschiede Werte bis zu 5—6°. Von den beschatteten Hängen sickert die kalte Luft in die noch direkt bestrahlte Doline hinein, wo schon um 13^a eine Temperaturabnahme auftritt, obzwar zur selben Zeit in den anderen, noch eine direkte Bestrahlung erhaltenden Teilen der Doline die Temperatur des bodennahen Luftraumes noch ansteigt. In den beschatteten Gebieten ist der vertikale Temperaturgradient überall negativ, und nach der Beschattung (um 13^a45^m) setzt diese Veränderung auch am Dolinenboden ein, obzwar hier noch die Temperatur um einige Zehntelgrade höher ist als am Hange.

Zwischen den beschatteten und den sonnigen Teilen der Doline setzt nun ein turbulenter Luftaustausch ein. Die Temperaturunterschiede zwischen diesen Teilen der Doline betragen bis zu 5—6°. Ein Beweis für das Vorhandensein dieses Luftaustausches liefert die Tatsache, daß an den nach N und E exponierten Hängen in Bodennähe (10 cm) die Temperatur schon abnimmt, wogegen zur selben Zeit (in 150 und 300 cm Höhe) vorübergehend noch eine Temperaturzunahme vorhanden ist.

In kurzer Zeit (um 15^a) wird der beschattete Dolinenboden der kühls-teil der gesamten Doline. Zu dieser Zeit wird die Doline noch durch eine NW—SE gerichtete Schattengrenze zweigeteilt und an den sonnigen Hängen (wo der vertikale Temperaturgradient einen positiven Wert besitzt) ist es um 4—5° wärmer.

Man sollte erwarten, daß am Dolinenboden der Kaltluftsee störungsfrei zu Stande komme. Demgegenüber wird nach der Beschattung der Doline unter der Einwirkung der zunehmenden Ausstrahlung am milden Peripherialhange der Doline (4°) die Luft am stärksten abgekühlt. Der Grund dafür besteht darin, daß an der Bergwiese (*Festucetum ovinae*), durch welchen die Doline bedeckt ist, hier die *Nardus stricta* die Oberhand erhält. Diese Pflanze begünstigt durch ihre sehr dünnen, aber dicht wachsenden Blätter die Abkühlung. In der Überlenkung der kühls-ten Luft auf den milden Östhange besitzt wahrscheinlich auch der Umstand eine Rolle, daß hier der Raumwinkel der Ausstrahlung ein größerer ist, als am Dolinenboden, wo die Ausstrahlung durch die steileren Dolinenwände in S, W, und N beschränkt wird. Nach Sonnenuntergang wird die ganze Doline stufenweise mit kälterer Luft ausgefüllt.

Die oben erwähnte Doline H o s s z ú b é r c wird von Süden her durch einen Bergzug begrenzt, der von einem 110 Jahre alten Buchenbestand bedeckt ist, und dies bewirkt eine bedeutende Horizont einschränkung (von 46°). In den anderen Dolinen des B ü k k—Gebirges, bei welchen die Tagesbeschattung aus Süden eine geringere ist, kommt die Rolle des verhältnismäßig steilen westlichen Hanges zur Geltung.

Auch in diesem Falle erfolgt im Sommer die Ausgestaltung des Kaltluft-sees in vier Etappen:

1. Beschattung des nach E exponierten Hanges, mit Auftreten eines negativen vertikalen Temperaturgradienten.
2. Beschattung des Dolinenbodens, mit Auftreten einer negativen Wärmebilanz.
3. Beschattung des östlichen Teiles der Doline, mit einem Übergewicht der Ausstrahlung auch in diesen Teilen.
4. Nach Sonnenuntergang die Ausfüllung der ganzen Doline mit Kaltluft.

Die Zeitdauer der Bildung der Kaltluft ist von der Horizonteinschränkung und von der Elongation der Sonne abhängig. In der H o s s z ú b é r c e r Doline, bei der die Horizonteinschränkung eine gewaltigere ist, geraten die nach NE und E'exponierten Hänge schon am Vormittag in den Schatten, somit spielt sich die erste Etappe der Bildung des Kaltluftsees zwischen 9^h und 13^h45^m ab. Hingegen kann man bei der K ö z é p b é r c e r Doline, bei welcher die Horizontbeschränkung eine geringere ist, diesen Vorgang an einem Augusttage zwischen 13^h45^m und 17^h beobachten. Unter gleicher geographischen Breite erfolgt der Sonnenuntergang und der Sonnenaufgang zur gleichen Ortszeit, somit besitzt die letzte Etappe der Ausbildung des Kaltluftsees die gleiche Länge, dagegen sind die Längen der ersten drei Etappen von der Horizonteinschränkung des westlichen Sektors der Doline abhängig. *Scmit ist bei den morphologischen Formen, durch welche die Bildung der Kaltluftseen begünstigt wird, vorzüglich die gegenseitige Relation der östlichen und westlichen Hänge bestimmend.* Sind die westlichen Hänge steil und die östlichen weniger steil, dann setzt rascher die Bildung eines Kaltluftsees ein, als im entgegengesetzten Falle.

An heiteren windstillen Nächten bildet sich in den Dolinen immer ein Kaltluftsee aus, und die kälteste Luft nimmt, nach den weniger steilen Hängen sich ausbreitend, den Dolinenboden ein. Bildet sich aber ein Bodennebel (und die Ausbildung desselben beginnt am Boden der Doline) dann hat man oberhalb des Nebels, deren Oberfläche die Rolle einer sekundären Ausstrahlungsfläche spielt, eine geringere Temperatur als am Dolinenboden. Die Ausstrahlung aus dem Dolinenboden wird durch die Nebelschicht vermindert, demzufolge bildet sich in der bodennahen Luftschicht eine Temperaturinversion aus. Oberhalb der Nebelschicht ist die Temperatur niedriger und an den Hängen der Doline sind die Minimaltemperaturen an den Niveaulinien, welche der Höhe der Nebelschicht entsprechen, ebenfalls niedriger als am Boden der Doline (WAGNER 1963, WAGNER 1964).

Nach warmen Tagen, wenn die bodennahe Luftschicht einen hohen absoluten Wasserdampfgehalt aufweist, kann die Erscheinung des sog. *fluktuierenden Dolinennebels* beobachtet werden: Diese nur einige Dezimeter starke Nebelschicht bildet sich am Dolinenboden. Infolge der Taubildung an den Pflanzen wird diese Nebelschicht vorübergehend aufgelöst, dann wird infolge der weiteren Abkühlung und entlang der *Nardetum*—Streifen, welche eine kräftigere Ausstrahlung bewirken, jetzt der Nebel auch schon an den Hängen der Doline neugebildet. Im Laufe der neueren Taubildung und der damit einhergehenden Nebelauflösung hat der Zuschauer den Eindruck, daß der Nebel sich auf den Dolinenboden zurückgezogen habe. Mit der weiteren Abkühlung erstreckt sich der Nebel weiter nach oben entlang der Hänge, dann erfolgt eine neuere Nebelauflösung. Im Laufe der weiteren Abkühlung gestaltet sich aus dem Nebel in der bodennahen Luftschicht ein Bodennebel und erfüllt das ganze Tal. Diese rhythmische Abwechslung von Nebelbildung und Auflösung kann auch in den Veränderungen der bodennahen Temperaturen verfolgt werden (WAGNER 1954).

Die Nebelbildung in der Doline vollzieht sich in sehr wechselvoller Weise. Natürlich ist sie von den Ausstrahlungsverhältnissen abhängig und es kommt vor, daß die Doline nicht vollständig von dem Nebel ausgefüllt wird, in solchem Falle ist in den oberen nebelfreien Teilen der Hänge der Doline die Abkühlung kräftiger als in den inneren Teilen der Doline, welche durch die

Nebelschicht geschützt werden. So hatte man z. B. am 10. Juli 1954 (in 5 cm Höhe) am Dolinenboden eine Minimumtemperatur von $-1,8^{\circ}$, und 15 cm höher, am wenig steilen Osthänge, eine solche von $-3,5^{\circ}$. Dies scheint zu beweisen, daß bei Nacht die Bildung der Kaltluftseen in erster Reihe durch die Ausstrahlung bestimmt wird.

Im Gebiet von K u r t a b é r e gibt es zwei Dolinen, welche in der Luftlinie nur 100 m von einander entfernt sind, doch ergab sich ein wesentlicher Unterschied in den Minima der Lufttemperaturen. Der Grund liegt in der Verschiedenheit der Vegetation. Obzwar in beiden Dolinen die vorwiegend Vegetationsform die Bergwiese ist (*Festucetum ovinae*), doch gibt es im Fall der Doline A nur am Ostrande einen Nadelholzwald, an den anderen Teile ihres Gebietes stehen nur einige, 8—10 Jahre alte Nadelholzbäume. Doline B befindet sich innerhalb eines Waldes und die Hänge waren nur bis zu halber Höhe (10 m) baumlos, der übrige Teil war durch einen schönen, 7 Jahre alten Buchenbestand bedeckt. Dementsprechend war der Himmel in jeder Richtung unter einem Winkel von etwa 45° sichtbar. Nach den Angaben des Sonnenscheindauermessers erhielt der Dolinenboden in der Zeit von 10—14 eine direkte Sonnenbestrahlung.

Beide Dolinenböden liegen in der selben Seehöhe (730 m), doch ist ihre relative Tiefe verschieden. Der Hang der Doline A erreicht nach N eine Höhe von 18 m, nach S eine Höhe von 14 m, dagegen liegt bei Doline B der Dolinenrand allgemein in 20 m Höhe. In allen Fällen war der Boden der Doline A kälter, an heiteren Tagen betrug der Unterschied etwa 4° . In der kältesten Nacht (24. August 1961) betrug die Lufttemperatur in 5 cm Höhe an Dolinenboden in der Doline A $-3,8^{\circ}$, in der Doline B $0,0^{\circ}$.

In der Doline B, infolge der raschen Beschattung der gesamten Doline erfolgt die Abkühlung der S- und W-Hänge nur kurz vor der Beschattung des Dolinenbodens, somit kann das Heruntersickern der abgekühlten Hangluft nur eine kurze Zeit lang andauern. Durch den umbegenden Wald wird die Ausstrahlungsfläche der Doline wesentlich eingeschränkt.

Etwa 40 m nach E von der Doline A liegt die Doline C, und zwar 6 m höher (736 m). Hier betrug das Temperaturminimum der bodennahen Luftschicht am 14. August 1961 den Wert von $-6,6^{\circ}$, gleichzeitig hatte man am Dolinenboden der Doline A einen Wert von $-5,8^{\circ}$. Die beiden Dolinen sind Uvalartartig miteinander verbunden, die Doline C wird durch einen 9 m hohen Sattel vom Bodenniveau der Doline A getrennt und die Tiefe der Doline C gegenüber dieses Sattels ist 3 m. Doch ist das Einzugsgebiet der Kaltluft etwa zehnmal größer bei der Doline C als bei der Doline A. In einem solchen Falle besitzt der Abfluß der Kaltluft sicherlich eine wesentliche Rolle, wie darauf auch von BOLZ (1951) hingewiesen wird.

Minima der Luft- und der Bodentemperaturen treten in den Dolinen bei heiterem Wetter nahezu zur gleichen Zeit auf. Am Dolinenboden, am Rande der Doline, sowie an den Hängen entlang der Isohypsen von 6 m und 9 m treten die Minima der Lufttemperatur zur Zeit des Sonnenaufganges, die der Bodentemperatur (in 2 cm Tiefe) um 5 Uhr auf. Die Untersuchungen, welche in der K ö z é p b é r e r Doline durchgeführt wurden, (in den Jahren 1965 und 1966) beweisen, daß der Zeitpunkt des Eintretens der Temperaturmaxima durch die an den verschiedenen exponierten Hängen eingestrahelten Energiemengen bestimmt wird. Zur Zeit der Ausbildung der Maxima der Lufttemperatur erhält freilich die sich im Luftraum des Tales abspielende Advektion sowie der

urbulente Luftaustausch innerhalb der Doline eine wesentliche Rolle. Doch ist es bezeichnend, daß die Maxima der Lufttemperatur an den nach E exponierten Hängen zwischen 9—11^h, an den nach S exponierten Hängen um 1^h, an den nach W exponierten Hängen um 15^h, an den nach N exponierten Hängen um 16^h eintritt. Als Folge der Elongation der Sonne kann im letzten alle eine geringe Temperaturwelle gegen 9^h erkannt werden, dagegen hat man an den nach E exponierten Hängen ein sekundäres Maximum der Lufttemperatur zwischen 14—15^h.

Gleichzeitig mit diesen Untersuchungen wurde eine Klimastation errichtet. Im Temperaturgang derselben findet sich zwischen 16—17^h ein Maximum. Im Durchschnitt der heiteren Tage hat man einen Wert von 24,6°, das Minimum tritt zwischen 4—5° mit 10,2° ein. Die Maxima der Lufttemperatur in 0 cm Höhe übertreffen in allen Expositionen die Mittelwerte der Klimastation, und die Minima sind wesentlich (um 6—8°) tiefer (Siehe Tabelle 1.).

Nach Angaben der Thermometer, welche an 9 verschiedenen orientierten Hängen bis zu 5 m über der Oberfläche angebracht wurden, ergibt sich die stärkste Erwärmung bei einer Exposition nach S (28,0°), die geringste bei einer Exposition nach E, und nur an zweiter Stelle am S-Hang. Wird die ganze Doline betrachtet, so hat man die niedrigsten Maxima am Dolinenrande (24,9°) und am Dolinenboden (25,3°).

Die Minima der Lufttemperatur sind im 10-cm-Niveau die geringsten am Dolinenboden (1,6°) und die höchsten am Dolinenrande (4,8°). Noch beträchtlicher ist der Unterschied zwischen den beiden Messungsstellen im 5-cm-Niveau: 3,7° gegenüber von 7,6°. Dies ist durch die für die Doline bezeichnende Kaltluftanhäufung erklärlich.

Noch prägnanter zeigen sich die Unterschiede zwischen den Hängen verschiedener Orientierung, und zwischen dem Dolinenboden und dem Dolinenrande in den Bodentemperaturen. Im Tagesgang derselben findet man nur ein einziges Maximum, namentlich in der Exposition nach E um 10—11^h, in der Exposition nach S um 12—14^h, am dolinenrande um 13—14^h, am Dolinen-

Tabelle I.

Maxima und Minima der Lufttemperatur, °C Mittelwerte der heiteren Tage
(6—9. August 1965)

Kurtabére

	Höhen der Thermometer, cm	Himmelsrichtungen						Dolinenboden	Dolinenrand	
		54°	90°	148°	180°	246°	316°			360°
Maxima	10	27,4	26,6	27,8	27,1	27,6	28,0	28,0	25,3	24,9
	50	25,5	25,6	26,1	25,3	24,3	26,4	27,3	24,2	23,7
	100	24,7	25,4	25,6	24,6	23,5	25,5	25,4	23,9	23,3
	300	24,3	24,6	25,3	24,2	23,3	25,1	25,0	23,8	23,3
	500	23,9	24,2	24,9	23,9	23,3	24,9	24,7	23,1	22,8
Minima	10	3,1	3,2	1,7	2,8	4,1	2,9	3,3	1,6	4,8
	50	3,5	3,5	2,8	3,1	4,3	4,0	4,0	3,0	4,8
	100	4,5	3,8	3,5	3,4	4,5	4,5	4,1	3,2	5,5
	300	5,0	4,1	4,3	3,8	4,6	4,6	4,7	3,5	6,7
	500	5,2	4,4	4,7	4,5	4,7	4,9	5,2	3,7	7,6

Tabelle II.

Maxima und Minima der Bodentemperatur, Mittelwerte der heiteren Tage
(6—9. August 1965)

Kurtabére

	Tiefe der Thermometer, cm	Himmelsrichtungen						Dolinenboden	Dolinenrand	
		54°	90°	148°	180°	246°	316°			360°
Maxima	2	26,2	27,7	22,6	19,1	18,3	28,6	28,0	25,6	26,4
	5	23,5	22,6	21,5	16,6	17,8	25,5	27,2	21,7	22,3
	10	20,9	19,3	19,3	16,2	16,8	22,9	23,6	19,4	20,5
	20	18,0	16,7	17,1	14,3	16,7	20,0	19,5	16,7	18,6
	30	16,6	15,5	16,1	14,0	16,5	18,2	17,9	16,1	17,7
Minima	2	13,3	11,9	12,9	11,5	13,0	12,6	14,2	12,3	13,0
	5	14,2	13,8	13,4	12,1	13,6	14,5	14,5	14,3	14,8
	10	15,2	14,9	14,8	13,6	13,8	15,6	15,0	15,4	15,4
	20	15,8	15,4	15,4	13,8	14,7	17,1	16,3	15,9	16,2
	30	16,0	15,3	15,6	13,8	14,9	16,9	16,8	15,8	16,3

boden um 14—15^h, in der Exposition nach W um 15^h und in der Exposition nach N um 16^h, Die Minima, ebenfalls in 2 cm Tiefe, treten um 5^h auf.

Wird die oberste 30 cm starke Bodenschicht in Betracht gezogen, so sind am wärmsten die Hänge, welche nach S und SE exponiert sind, und die kältesten sind dieselben von einer Exposition nach N und W. Diese Unterschiede finden sich sowohl in den Maxima, wie auch in den Minima der Bodentemperatur (S. Tabelle II.).

Die Stärke der Erwärmung und der Abkühlung des Bodens, sowie die Zeitpunkte des Auftretens der Maxima der Bodentemperatur, stehen in Zusammenhang mit der auf die Seitenwände der Doline einfallenden Strahlung. Der Bodentemperatur-Unterschied, der zwischen dem Dolinenrande und dem Dolinenboden besteht, (beide auf eine Horizontalfläche bezogen) ergibt sich aus der unterschiedlichen Sonnenscheindauer (am Dolinenrande 13,3 Stunden, am Dolinenboden 11,6 Stunden).

Die Bodentemperaturangaben bieten eine ausgezeichnete Möglichkeit für die Unterscheidung der Mikroklimaten in der Doline, und dieselben können durch Heranziehung anderer mikroklimatischen Angaben noch verfeinert werden.

Dabei müssen wir auf die Lufttemperatur-Angaben des Dolinenrandes und des Dolinenbodens zurückkommen. In den Maxima zeigt sich ein Gegensatz im Vergleich zu den Bodentemperaturen, indem der Dolinenboden, infolge seiner mehr geschlossenen Lage und infolge der Mikroadvktion, die sich innerhalb der Doline abspielt, wärmer ist, als die Luftschicht über dem Dolinenrande, welche noch auch unter dem Einfluß der äußeren Advktionen steht. Mehr bezeichnend ist der große Unterschied, der in den Temperaturminima zu finden ist, was ein Beweis für das Absickern der Kaltluft nach dem Dolinenboden darstellt.

Auf Grund dieser Tatsachen kann es festgestellt werden, daß sich in den Dolinen des Bükk-Gebirges jede Nacht ein Kaltluftsee bildet. Auch an bewölkten, sogar regnerischen Tagen ist die Temperatur der Luft am Dolinengrund niedriger als an den Seiten oder am Rande der Doline. Unter gleichen Wetterverhältnissen wird die Anhäufung der Kaltluft von der Ausdehnung des Gebietes, von seinen relativen Tiefe, seiner Vegetation und von den Schattenverhältnissen der Westhänge beeinflusst.

LITERATUR

- Aichele, H.* (1953): Kaltluftpulsationen. Meteorologische Rundschau.
- Bacsó N.—Zólyomi B.* (1934): Mikroklíma és növényzet a Bükk-fensíkon. Az időjárás 38.
- Berg, H.* (1951): Klein Klimatologische Messungen im Höhen Venn. Zeitschrift für Meteorologie. Bd. 5.
- Bolz, H. M.* (1951): Der Einfluß der infraroten Strahlung auf das Mikroklíma. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR.
- Endrődi G.* (1961): A domborzat hatása a hőmérséklet alakulására a Tihanyi félszigeten. Időjárás 65.
- Endrődi G.* (1961): Hideg légtavak a Tihanyi félszigeten. Időjárás 65.
- Endrődi G.* (1964): A hideg légtavak hőmérsékleti viszonyai a Tihanyi félszigeten. Beszámoló az 1963-ban végzett tudományos kutatásokról II. O. M. I. Budapest.
- Endrődi G.* (1965): A terepklimatológiai kutatások módszereinek alapvető kérdései. Időjárás 69.
- Futó J.* (1962): Mikroklímatikus mérések a Nagymezőn Földrajzi Értesítő XI.
- Geiger, R.* (1923—27): Das Stationsnetz z. Untersuchung d. bodennahen Luftschicht. Deutsch. Met. Jahrb. f. Bayern. 1923—27.
- Geiger, R.* (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig.
- Huss, E.* (1955): Kleinraummeteorologische Studien im Federseegebiet in Strahlungsnächten. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Serie B. Bd. 6.
- Lehmann, P.* (1952): Abkühlung und Erwärmung im nächtlichen Kaltluftfluß. Berichte des Deutschen Wetterdienstes in US-Zone. Nr. 18.
- Plaatschke, J.* (1953): Zur Bildung der Kälteseen in Tälern und Mälden. Zeitschrift für Meteorologie. Bd. 7.
- Reiher, M.* (1963): Nächtlicher Kaltluftfluß an Hindernissen. Biokl. B. 3.
- Sauberer, F.—Dirmhirn, I.* (1953): Über die Entstehung der extremen Temperaturminima in der Doline Gstettner-Alm. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie. Serie B. Bd. 5.
- Sauberer, F.—Dirmhirn, I.* (1956): Weitere Untersuchungen über die Kaltluftsammlungen in der Doline Gstettner-Alm, bei Lunz. Wetter und Leben, Jg. 8.
- Schmidt, W.* (1930): Die tiefsten Minimumtemperaturen in Mitteleuropa. Naturw. 18.
- Schmidt, W.* (1933): Neue Wege met. Forschung u. i. Bedaut. f. Praxis u. Leben. Deutsche Forschung 18.
- Soó, R.* (1929): Experimental-ökologische Studien am Balaton. Math. Naturw. Berichte aus Ungarn.
- Soó, R.* (1933): A Balatonvidék növényzövegeteinek szociológiai és ökológiai jellemzése. Math. Természettud. Ért.
- Wagner, R.* (1954): Fluktuáló töbörköd. (Fluktierende Dolinenebel) Időjárás 58.
- Wagner, R.* (1955): A mikroklímák földrajzi elrendeződése Hosszúbercen. OMI Beszámoló.
- Wagner, R.* (1956): Mikroklímatárségek és térképezésük. Földrajzi Közlemények 80.

- Wagner, R.* (1963): Der Tagesgang der Lufttemperatur einer Doline im Bükk-Gebirge. Acta Climatologica II.—II.
- Wagner, R.* (1964): Lufttemperaturmessungen in einer Doline des Bükk-Gebirges. Zeitschrift für Angewandte Meteorologie. 5.