

Die Ermittlung von thermischen Gunst- und Frostlagen – ein Beitrag zur Erfassung des Luftdargebotes in Gebieten mit geringer Reliefenergie

Von **Andreas Weise**

Mit 3 Abbildungen und 1 Tabelle

(Eingegangen am 12. April 1978)

1. Einleitung

Die Kennzeichnung und Nutzung der Potentiale der Naturräume und ihre Umwandlung in die verschiedensten Gebrauchswerte spielen im Produktions- und Reproduktionsprozeß der Gesellschaft eine wichtige Rolle. Auf Grund ihrer Struktur und Dynamik besitzen Naturräume eine bestimmte Menge von Nutzungsmöglichkeiten, die der Befriedigung der Bedürfnisse der Gesellschaft dienen.

Im Zusammenhang mit der weiteren Intensivierung im Feld-, Obst- und Gartenbau gewinnt besonders die Ermittlung frostgefährdeter Geländelagen einerseits und die Lokalisierung thermischer Gunstlagen andererseits auch in den Naturräumen des Tieflandes der DDR zunehmende Bedeutung. Die Qualität des Luftdargebotes und seine Abwandlung – Qualitätssteigerung oder Qualitätsminderung – durch Geländeform, Bodenform und Bestand spielen insbesondere unter prognostischer Betrachtungsweise im Obst- und Gartenbau eine wichtige Rolle.

Das Luftdargebot wird primär durch die über einem Gebiet vorhandene Luftmasse repräsentiert und stellt die Gesamtheit aller gasförmigen Bestandteile (mit ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften) eines Naturraumes dar, die sowohl für die biotischen (Assimilation, Atmung) als auch für die abiotischen (Oxydation, Reduktion) Prozesse und somit für die Existenz der lebenden Materie (menschliche Gesellschaft, Pflanzen- und Tierwelt) von entscheidender Bedeutung sind. Bedingt durch die unterschiedlichen Luftdruckverhältnisse lösen die verschiedenen Wetterlagen im naturräumlichen Hauptstockwerk eine Reihe von Wirkungen aus, die unter den Bedingungen unterschiedlicher Relief- und Bodenformen sowie des Bestandes (z. B. Wald, Siedlungen) u. a. die thermische Qualität des Luftdargebotes vermindern oder erhöhen können. Es ist auf vielfältige Prozesse des Geosystems gerichtet (z. B. Bodenbildung, Gasaustausch) und hat eine Reihe von korrespondierenden Bindungen zu prozessorientierten Potentialen des Naturraumes (z. B. biotisches Ertragspotential, Rekreationspotential).

Die Reproduktion der optimalen Qualitätseigenschaften des Luftdargebotes ist heute ein gesamtgesellschaftliches Anliegen. Technisierung, Chemisierung und die steigende Energieintensität der Arbeits- und Lebensprozesse bewirken eine weitere Belastung der Luftqualität und führen zu negativen Auswirkungen auf die Lebens- und Produktionsprozesse besonders in den Ballungsgebieten (z. B. Zunahme der Morbidität an chronischen Bronchiten).

Im Rahmen von Forschungsarbeiten über die geoökologischen Grundlagen der sozialistischen Landeskultur spielten im Zusammenhang mit geländeklimatologischen Untersuchungen die Temperaturverhältnisse und ihre Abwandlungen durch Gelände-, Bodenform und Bestand in Gebieten mit geringer Reliefenergie eine wichtige Rolle (Weise 1975).

Die für die pleistozäne Aufschüttung typischen Hügellgebiete (Endmoränen, Kames, Oser), Grundmoräneninseln, Grundmoränensäume, Sander und Talsandflächen und die auf holozänen Meerestransgressionen zurückzuführenden Gebiete mit Seesandflächen, holozänen Lehmlagerungen und Vermoorungen sind typische Oberflächenformen der Naturräume im Tiefland der DDR (Barsch, Richter 1974). Obwohl diese Bereiche im Vergleich zu den Naturräumen des Mittelgebirges eine wesentlich geringere Reliefenergie aufweisen, zeigen diese Oberflächenformen besonders in thermischer Hinsicht geländeklimatologische Wirkungen (z. B. Einfluß der Exposition, Kaltluftsammlung in konkaven Formen), die Untersuchungen zur Ermittlung thermisch begünstigter bzw. thermisch benachteiligter Geländelagen wirtschaftlich notwendig machen.

2. Thermische Gunstlagen

Für die Ermittlung thermischer Gunstlagen spielten besonders die Anforderungen eine Rolle, die durch den Weinbau gegeben waren. Zu diesen wärmebegünstigten Geländebereichen zählen die Hanglagen unterschiedlicher Neigung und Exposition, die durch ihr „Hanglagenklima“, zum Beispiel in den Mittelgebirgslagen, vielfach die Qualität der Äcker und die Anbaumöglichkeiten für bestimmte Pflanzensorten gewährleisten.

Ausgangspunkt geländeklimatischer Untersuchungen zur Ermittlung thermischer Gunstlagen stellen stets Beobachtungen zu den Strahlungsverhältnissen eines Gebietes dar, da sie als Grundlage der meteorologischen Prozesse von entscheidender Bedeutung sind. Auf Grund der Untersuchungen von Kaempfert und Morgen (1952) läßt sich der Strahlungseuß für die verschiedenen Geländebereiche eines Gebietes ermitteln. Während Normallagen höchstmögliche Strahlungssummen von 110 bis $120 \cdot 10^3 \text{ ly Jahr}^{-1}$ aufweisen, ergaben sich zum Beispiel an den Südhängen von Endmoränen mit $130 \cdot 10^3 \text{ ly Jahr}^{-1}$ im Durchschnitt die höchsten Beträge; vereinzelt erreichten sehr steile (über 10° Hangneigung), nach Süden exponierte Hänge mehr als $140 \cdot 10^3 \text{ ly Jahr}^{-1}$ (Besonnungskategorie II nach Koch 1963). Wählt man Tage aus, die besonders hohe Summen der Globalstrahlung aufweisen (über 500 ly/Tag), so lassen sich die Expositionsunterschiede auch in Gebieten mit geringer Reliefenergie nachweisen. So zeigen steile (5 bis 10° Hangneigung) und sehr steile nach Südwesten exponierte Hänge um 3 bis 4 K höhere mittlere Maxima als die entsprechenden Hänge nordöstlicher Exposition.

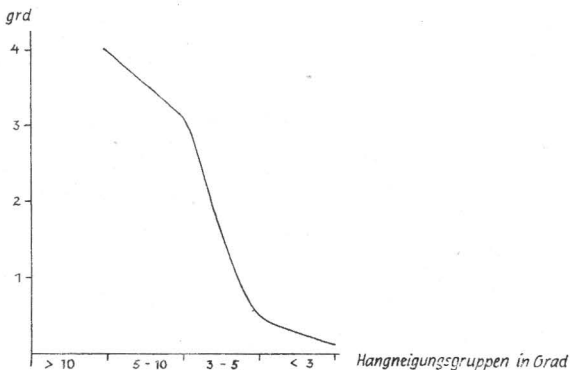


Abb. 1. Zusammenhang zwischen ausgewählten Hangneigungsgruppen und den Temperaturunterschieden (mittlere tägliche Maxima) nördlicher und südlicher Exposition in 50 cm über Flur (Bedingung: tägliche Globalstrahlung $> 500 \text{ ly}$)

Bei flachen Hängen (kleiner als 5° Hangneigung) sind diese Unterschiede nicht oder sehr gering (mittlerer Temperaturunterschied unter $0,5\text{ K}$) ausgeprägt (Abb. 1). In diesem Zusammenhang sei jedoch darauf hingewiesen, daß kleine und kleinste Neigungsunterschiede von der Tierwelt ausgenutzt werden (z. B. Anlage von Nestern der Bodenbrüter auf der zur Sonne geneigten Seite von Bodenunebenheiten). Besonders wichtig sind dabei die Neigungen zur Nachmittagssonne, weil besonders der Wärmegeinn der Vormittagssonne noch für die Verdunstung der nächtlichen Bodenfeuchtigkeit verbraucht wird und in diesen Bereichen erst nachmittags der optimale Erwärmungseffekt erreicht wird. Auf diese günstigen thermischen Verhältnisse war auch das Auffinden einer Restpopulation der Smaragdeidechse (*Lacerta viridis* Laurenti) zurückzuführen, die bis 1967 an einem trockenen Sandstandort (Nähe alter Kiefernstubben) 8 km nordwestlich von Werder zu beobachten war.

Immer wieder wird in der Literatur der Begriff der „Warmen Hangzone“ („thermal belt“) diskutiert und ihre Bedeutung für den Obst-, Gemüsebau und die Siedlungsplanung hervorgehoben (Henry 1924, Geiger 1961, Koch 1961, Müller 1977, Weise 1978). Während der „thermal belt“ zum feststehenden Sprachgebrauch amerikanischer Obstfarmer in Nordkarolina und Kalifornien gehörte und eine wichtige Rolle bei der Höhe der Obsterträge spielte, wurde dieser Begriff zu Beginn unseres Jahrhunderts in Europa bekannt. In einer Vielzahl von Untersuchungen (Hayes 1941, Geiger 1961, Koch 1961, Weise 1978) zu obengenanntem Problem erkannte man die warme Hangzone als einen Bereich höherer Nachttemperatur gegenüber den Kuppen und Niederungsgebieten. In windstillen und wolkenlosen Nächten bilden sich an den Hängen Einzelzirkulationen zwischen der schneller erkaltenden Luft am Hang und dem Warmluftspeicher über dem Tal (Niederung) aus. Auf flachen Plateaus schichtet sich die Kaltluft und im Tal bzw. der Niederung bildet sich ein Kaltluftsee; zwischen beiden Gebieten (Plateau und Tal) kann sich eine Zone höherer Nachttemperatur ausprägen. So weisen Tallagen also ein „kontinentales Klima“ auf, während Hänge nachts und je nach Exposition und Neigung (Steilheit) auch tagsüber wärmer sein können (Geiger 1961).

Wie Untersuchungen in Schwedisch-Lapland beweisen (Bylund und Sundborg 1952), können dabei beträchtliche Temperaturunterschiede auftreten. Bei Untersuchungen zur Siedlungsplanung wiesen Ortslagen bei 2–3 km Horizontalentfernung 8 bis 9 K Temperaturunterschied auf.

Praktische und theoretische Gesichtspunkte gaben den Ausschlag dafür, festzustellen, bis zu welchen relativen Höhenunterschieden bzw. bis zu welcher Hangneigung das Phänomen der warmen Hangzone noch nachzuweisen ist (Bedeutung für die Ausweitung von Obstplantagen, Anbau von frostempfindlichen Obstsorten).

Im Rahmen von geländeklimatologischen Untersuchungen im Havelgebiet westlich von Werder (Weise 1968, 1975; Barsch, Schuster-Kröber, Weise 1969) spielte auch die Frage nach dem Auftreten der warmen Hangzone im pleistozänen Aufschüttungsgebiet der DDR – also einem Gebiet mit mehr oder weniger geringen Reliefunterschieden – eine Rolle.

Das Auftreten bzw. der Nachweis der warmen Hangzone ist an ganz bestimmte Bedingungen geknüpft (vgl. auch Bylund und Sundborg 1952, und Müller 1977 bei Untersuchungen in Schwedisch-Lapland):

- Lediglich in Nächten starker Austrahlung und bei einer Windgeschwindigkeit unter $5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ist mit der Ausprägung der warmen Hangzone an steilen und sehr steilen von geschlossenen Waldflächen freien Hängen zu rechnen.

- Die Höhenlage der warmen Hangzone relativ zur Talmitte (Niederungsmittle) betrug zwischen 10 und 45 m (unter Einbeziehung der Untersuchungen von Müller 1977) und verschob sich sowohl in den unteren bzw. oberen Hangbereich.

– In Einzelfällen trat die warme Hangzone auch in trüben windstillen Nächten auf. Sie drückte sich bei Vorhandensein von hohen Beträgen der Globalstrahlung (über 500 ly) bei Tage und in Nächten mit starker Ausstrahlung an steilen nach SWexponierten Hängen auch in den Tagesmitteln der Temperatur in 50 cm über Flur aus.

– Während im Mittelgebirge und in alpinen Bereichen eine Mehrgliedrigkeit der warmen Hangzone nachgewiesen wurde, trat aufgrund der relativ geringen Höhenunterschiede im Untersuchungsgebiet aber nur eine Untergliederung in eine obere und eine untere warme Hangzone auf (Abb. 2).

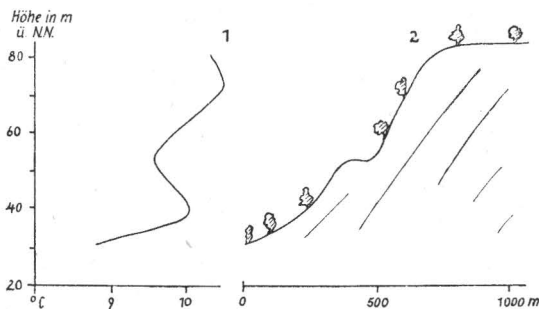


Abb. 2. In zwei Abschnitte gegliederte warme Hangzone an einem steilen Hang 6 km nordwestlich von Werder

1: Temperaturhöhenprofil (fünf windstille Nächte starker Ausstrahlung)

2: Topographisches Profil (Überhöhung 25fach)

– Die Ausprägung der warmen Hangzone war grundsätzlich an das Vorhandensein kontinentaler Luftmassen bzw. antizyklonaler Wetterlagen gebunden, da diese die Bedingung nach Bewölkungsarmut bzw. sehr geringer Windgeschwindigkeit und Windstille erfüllten.

– An Hanglagen (gleich welcher Neigung) mit charakteristischen Bestandsformen (z. B. geschlossene Waldflächen und Siedlungen) war die Ausbildung der warmen Hangzone nicht zu beobachten.

Um auf diese thermischen Gunstareale hinzuweisen, sollten sie auch auf geländeklimatologischen Karten gekennzeichnet werden. Die warme Hangzone könnte auf der Karte mit einem „H“ angedeutet und wie folgt abgestuft werden:

H₃: Warme Hangzone vorhanden und durch mehrfache Messungen nachgewiesen,

H₂: Warme Hangzone vorhanden und durch einmalige Messung nachgewiesen,

H₁: Warme Hangzone vermutet und durch phänologische und andere Beobachtungen und Befragungen erkannt.

Bei geländeklimatologischen Untersuchungen im Mittelgebirgsbereich (Leser 1973) wurde bereits darauf hingewiesen, daß auch die „warmen Kuppenzonen“ (spitze Kuppenform) zu den thermischen Gunstarealen gerechnet werden können. Auch in Gebieten mit geringer Reliefenergie konnte obengenannte Tatsache beobachtet werden. Einerseits ist die durch die Expositionsunterschiede bedingte Luftunruhe in den erwähnten Kuppenbereichen noch nicht abgeklungen, so daß sich andererseits auf Grund der kleinen Arealgröße (spitze Kuppen und Kuppen mit kleinen Plateaus bis 500 m²) für ebene Flächen kaum eine stabile nächtliche Kaltluftschichtung, wie es auf Kuppen mit größeren Plateaus (über 500 m²) üblich ist, ausbilden kann.

3. Frostlagen und Frostgefährdung

Für die Praxis der Landnutzung erwies es sich schon sehr frühzeitig, daß die Ermittlung thermisch benachteiligter Geländebereiche von weit größerer Bedeutung ist als die Untersuchung thermischer Gunstareale. Die Schäden an frostempfindlichen Kulturen des Wein-, Obst- und Gemüsebaus führten zu einer Vielzahl von geländeklimatischen Arbeiten zum Problem der lokalen Frostgefährdung und zum reliefbedingten Kaltluftfluß (vgl. Schnelle 1950, 1953).

Tabelle 1 weist auf die Gefahren des Erfrierens hin, denen ausgewählte Obstsorten in ihren unterschiedlichen Reifestadien ausgesetzt sind.

Tabelle 1. Frostempfindlichkeit von Obstarten

Obstart	Noch geschlossene Blütenknospen, die schon eine Farbe zeigen	voll entfaltete Blüten	kleine grüne Früchte
Äpfel	— 3,9 °C	— 2,2 °C	— 1,7 °C
Pfirsiche	— 3,9 °C	— 2,8 °C	— 1,1 °C
Kirschen	— 2,2 °C	— 2,2 °C	— 1,1 °C
Birnen	— 3,9 °C	— 2,2 °C	— 1,1 °C
Pflaumen	— 3,9 °C	— 2,2 °C	— 1,1 °C

(Auszug aus der Tabelle nach Bush (1947) in Schnelle 1963, S. 423)

Wie die Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der nächtlichen Minima in einem Testgebiet zeigten (Weise 1975), stellen auch in Gebieten mit geringer Reliefenergie die unterschiedlichen Relief- und Bodenformen Einflußgrößen dar, die die nächtlichen Minimaltemperaturen (50 cm über Flur) erniedrigen können (in konkaven Geländelagen, durch Bodenformen wie Niedermoor und Gleye). Im wesentlichen ist die Entstehung von Frostlagen durch statische Effekte (Schichtung der Kaltluft in ebenen und konkaven Geländelagen) und zum anderen durch dynamische Effekte (Kaltluftfluß) bedingt und kann durch Einflüsse des Bestandes im mikro- und mesoklimatischen Bereich verstärkt (z. B. Stau) oder gemildert (nächtliche Ausstrahlungsabschirmung in der Nähe geschlossener Waldflächen) werden.

Die für den Feld-, Garten- und Obstbau ungünstigen Früh-, Spät- und Sommerfröste werden unter dem Begriff „Schadenfrost“ zusammengefaßt.

Da allerdings auch Winterfröste zu erheblichen Schäden an Pflanzen führen können, schlägt Schneider (in Schnelle 1963) vor, die Fröste in

- Fröste während der Vegetationszeit und
- Fröste während der Vegetationsruhe einzuteilen.

Besonders ungünstige Relief- und Bodenverhältnisse verstärken diese an sich großräumig auftretenden Schadenfröste lokal besonders. Sie sind in vielen Fällen typische Erscheinungen des Meso- und Mikroklimas, bei denen Blüten erfrieren, Pflanzenteile absterben und andere Schädigungen auftreten.

Mit fortschreitender Entwicklung des Reifeprozesses obengenannter Obstarten nimmt die Frostempfindlichkeit zu, und so können im zuletzt aufgeführten Reifestadium (Tabelle 1) selbst geringfügige Frostgrade (– 1,0 bis 1,5) zu erheblichen Schäden führen.

Frostschäden während der Winterruhe treten dann auf, wenn die Temperaturen unter –27 °C bis –28 °C absinken (der Schwankungsbereich für die verschiedenen

Obstarten liegt zwischen -20 und -30 °C). Bei Wintergetreide treten erst dann Total Schäden auf, wenn dicht unter der Bodenoberfläche (2 cm) die Temperaturen auf etwa -18 °C absinken (die ersten Halmknotten erfrieren).

Für den örtlich bedingten Eintritt eines Schadenfrostes können folgende wesentliche Ursachen angeführt werden:

- Frühfröste sind oft an das Vorhandensein einer Hochdrucklage gebunden (Hoch über Mitteleuropa oder Hoch über dem Nordmeer).
- Spätfröste sind meistens an den Großwettertyp der Nordlagen gebunden.
- Bedeckungsarmut und Windstille sind Voraussetzungen dafür, daß die nächtliche Temperaturschichtung keinen störenden Einflüssen unterliegt.
- Vorwiegend konkave Geländelagen, in denen eigene Kaltluft produziert wird, die aber auch Sammelbecken für fremde Kaltluft sein können (zusätzlich können Einflüsse von Böden, mit geringer Wärmeleitfähigkeit auftreten), begünstigen den Eintritt eines Schadensfrostes.
- Geländelagen, in denen Kaltluft gestaut wird (Hangmulden, Bahndämme, dichte Hecken), sowie Kaltluftfluß können Ursachen für das Vorkommen eines Schadenfrostes sein.

Auf Grund mehrjähriger Untersuchungen in Testgebieten des Tieflandes der DDR (z. B. Havelgebiet nordwestlich Werder) konnten eine Reihe von Kriterien erarbeitet werden, die für die Frostgefährdung bestimmter Geländelagen ausschlaggebend sind.

Hanglagen sind dann frostgefährdet, wenn an ihnen Flächen auftreten, die eine Schichtung bzw. einen Stau der nächtlichen Kaltluft zulassen. Von den breiten Rücken der Kuppen, die als Kaltluftproduzenten (z. B. gerodete Forstflächen) wirken, fließt die Kaltluft an flachgeneigten Hängen ($2-5^\circ$ Hangneigung) in Niederungsrichtung und kann in diesen Bereichen eine Temperaturerniedrigung zwischen 0,5 bis 1,5 K im Mittel bewirken und dadurch insbesondere Spätfröste (z. B. Blütenfröste) verursachen. Stauobjekte am Hang (Hecken, Wälle, Dämme) können die thermischen Verhältnisse dieses Bereiches noch weiter verschlechtern (weitere Temperaturerniedrigung in den nächtlichen Minimaltemperaturen bis 1 K im Mittel). Am Hang auftretende schwachgeneigte ($1-2^\circ$) und mäßig geneigte (über 2° zur Niederung hin einfallend) Hohlformen (P_1 und P_2 , Abb. 3) können lokal zu tropfenförmigem Abfluß bzw. zum sogenannten Hangaufwärtsquellen der Kaltluft und zu den vielfach beobachteten Frostschäden entlang ganz bestimmter „Kaltluftstraßen“ führen.

Kuppenlagen können dann als frostgefährdet gelten, wenn sie Plateauflächen aufweisen, auf denen eine stabile Schichtung der nächtlichen Kaltluft möglich ist. Im Zusammenhang mit den auf ihnen vielfach vorhandenen Kahlschlägen stellen sie Kaltluftproduzenten dar, deren Kaltluftproduktion an die mehr oder weniger mächtige organische Auflage (Nadel- oder Laubstreu) gebunden ist. Auf diesen Platten bzw. Plateaus können lokal vorhandene, geschlossene, konkave Formen unterschiedlicher Dimension („Frostloch“) die thermischen Verhältnisse noch weiter verschlechtern (z. B. im Bereich der Glindower Platte). Diese durch ihre Position (P_3) im Gelände bedingten extremen Frostlagen werden heute vom Obstbau, aber auch vom Feldbau weitgehend gemieden (oft auftretende Schäden an Hackfrüchten durch Frühfröste).

Die geländeklimatologische Wirkung der Niederungen und Täler bezüglich ihrer Temperaturbeeinflussung (nächtliche Minima in 50 cm über Flur unter Berücksichtigung starker Ausstrahlungsverhältnisse) besteht in ihrer kaltluftproduzierenden und kaltluftsammlenden Eigenschaft. Zwischen steilen Hängen (5 bis 10° Hangneigung) und der Niederung ergaben sich in einer vierjährigen Meßperiode in den mittleren nächtlichen Minimaltemperaturen Unterschiede von 2,0 bis 4,5 K (Abb. 3). Die Angabe

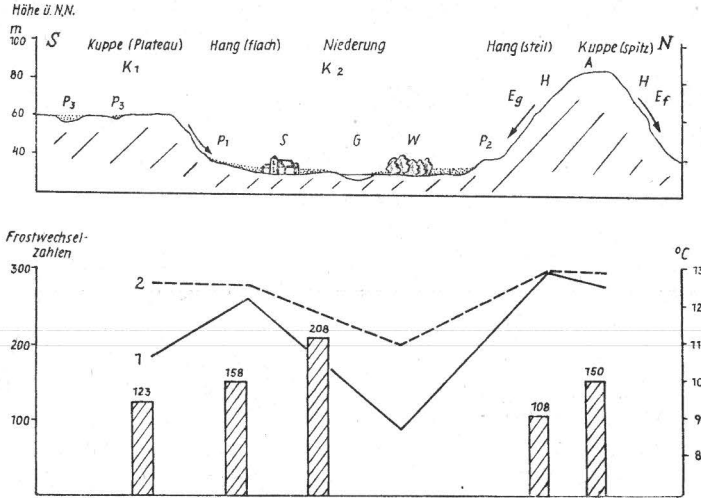


Abb. 3. Thermische Gunstlagen und Frostlagen in Gebieten mit geringer Relief-
engerie (Idealprofil, schematisiert)

- 1 : Mittlere Minima in Nächten mit starker Ausstrahlung (Mefzeitraum 1966 bis 1970)
 - 2 : Mittlere Minima in trüben Nächten (Mefzeitraum 1966—1970)
 - : Richtung der Kaltluftbewegung - - - - geschichtete Kaltluft
 - K₂ : Kaltluftproduzenten, Kaltluftammelgebiet je nach Bodenform noch unterteilt in Moorstufe (M), Gleystufen (G₂ und G₁)
 - K₁ : Kaltluftproduzenten, Kaltluftschichtung möglich
 - P₃—P₁ : Kaltluftammelgebiete auf Grund ihrer Position im Gelände
 - A : Warme Kuppenzonen 123: Höhe der Frostwechselzahlen
 - H : Warme Hangzonen (September — Juni)
 - E_G : Durch südliche Exposition bedingte Gunstlagen
 - E_F : Durch nördliche Exposition benachteiligte Hanglagen
 - S : Geschlossene Siedlungen
 - W : Geschlossene Waldflächen
 - G : Gewässer
- } Bestand (kann thermisch günstig oder ungünstig wirken)

dieses relativ großen Temperaturbereiches ist auf die Wirkung der thermisch extremen Eigenschaften einzelner Bodenformen (z. B. Moorböden, Gleyböden) zurückzuführen, die als extreme Frostlagen gekennzeichnet werden können (z. B. Auftreten von Sommernachtsfrösten).

Nach ihrer Temperaturbeeinflussung (nächtliche Minima) wurden die in den Niederungen des Havelgebietes nordwestlich von Werder ermittelten Bodenformen in Gruppen eingeteilt (statistische Sicherung durch den Duncan-Test):

Gruppe I (Moorstufe)

Starke Beeinflussung der Minima der Lufttemperatur (50 cm über Flur) in ebenem Gelände, Porenvolumen größer als 60 % und Anteil an organischer Substanz größer als 30 %; zu dieser Gruppe zählen die Bodenformen: Niedermoor (Nto Ia), Halbmoor (Nto Ib) und Gleymoor (Nto II); Abweichung von Potsdam -6 K (Abweichung der mittleren nächtlichen Minima in 50 cm über Flur von den Minima in 200 cm über Flur in Nächten mit starker Ausstrahlung).

Gruppe II (Gleystufe 2)

Mäßige Beeinflussung der Minima der Lufttemperatur (50 cm über Flur) in ebenem Gelände, Porenvolumen zwischen 40 und 60 %, Anteil der organischen Substanz 10–30 %, mittlerer Temperaturunterschied (in den mittleren nächtlichen Minima) zu Gruppe I 1,0 bis 1,5 K; dazu zählen die Bodenformen: Moorgley (Nto III), Sandanmoor (dO) und Sand- bzw. Salmgrundgley (sG, mG); Abweichung von Potsdam –4,5 bis 5 K.

Gruppe III (Gleystufe 1)

Schwache Beeinflussung der Minima der Lufttemperatur (50 cm über Flur) in ebenem Gelände, Porenvolumen bis 40 %, Anteil an organischer Substanz meist unter 10 %, mittlerer Temperaturunterschied (in den mittleren nächtlichen Minima) zu Gruppe II 1,0 bis 1,5 K; zu dieser Gruppe zählen die Bodenformen Sand-Schwarzgley (sZ) und verwandte Bodenformen (Sand-Schwarzgrundgley und Tieflehmschwarzgley); Abweichung von Potsdam –3 bis –4 K.

Durch zusätzliche in den Niederungsbereichen auftretende konkave Formen (z. B. in Gebieten der Moorstufe) konnten beispielsweise nordwestlich von Werder die in unseren Breiten relativ seltenen Sommernachtsfröste im Juli und August gemessen und registriert werden (im Mittel zwischen –0,5 bis –1,2 °C).

Eine besondere Bedeutung für die Schädigung von Boden und Pflanzen hat der Frostwechsel (Wechsel von Auftauen und Gefrieren), weil er in Bodennähe häufiger als in 200 cm über Flur auftritt. Unter einem Frostwechsel versteht man einen Durchgang der Temperatur durch den Nullpunkt, während ein Frostwechseltag ein Tag mit einem oder mehreren Frostwechseln sein kann. Die Frostwechselzahl ist die Anzahl der Frostwechsel und die Frostwechseldichte die Anzahl der Frostwechsel je Frostwechseltag. Frostschäden treten besonders auf Grund des Frostwechsels, beispielsweise an Wintergetreide, auf (Auswinterungsschäden). Durch wechselndes Heben und Senken der Bodenoberfläche werden junge Pflanzen an der Grenze zwischen gefrorenem und nicht gefrorenem Boden zerrissen. Besonders an einigen Standorten zeigen sich sehr starke Abweichungen im Vergleich zu den Untersuchungsergebnissen an Klimastationen (vgl. Heyer 1975, 1963).

In den in Abb. 3 dargestellten Werten (Mittelwerte von jeweils vier gleichartigen Geländebereichen im Zeitraum September bis Juni) treten die Niederungsstandorte mit fast doppelt so hohen Frostwechselzahlen hervor wie die entsprechenden Angaben für steile Hänge. Die relativ hohen Frostwechselzahlen an flachen Hängen deuten auf vorhandenen Kaltluftfluß hin, während die entsprechenden höheren Werte an steilen spitzen Kuppen gegenüber denen mit ausgeprägtem Plateaucharakter auf die größere Luftunruhe (Windeinfluß) zurückzuführen sind, so daß sich eine stabile Kaltluftschichtung nicht ausbilden kann.

4. Die Rolle des Bestandes

Der Bestand (Siedlungen, geschlossene Waldflächen, Gewässer) kann auf Grund der Gesamtheit seiner thermischen Eigenschaften eine Reihe von meteorologischen Parametern in der Weise abwandeln, daß sich Eigenklimate (z. B. Stadtklima) ausprägen können. Während in der Wirkung geschlossener Waldflächen auf die Niederschlagsergiebigkeit weitgehend einheitliche Auffassungen bestehen, gehen die Meinungen zum ausstrahlungsmindernden Einfluß auf die Temperaturen (nächtliche Minimaltemperaturen) in Waldbeständen noch weit auseinander bzw. sie widersprechen sich direkt (Großer 1974). Diese unterschiedlichen Interpretationen sind unter anderem möglicherweise auf die verschiedene Struktur von Waldbeständen zurückzuführen. Ein

Kiefernbestand ist in seinem die nächtliche Ausstrahlung mindernden Einfluß bedeutend wirksamer als ein Laubwaldbestand (höherer Gesamtstrahlungseinfall im Kiefernbestand); ebenso erweisen sich Kiefernbestände mit dichter Naturverjüngung wärmer als verjüngungsfreie Bestände. Bestandsdurchlöcherungen und Kahlschläge zeigen sich als thermisch äußerst ungünstig, insbesondere auf die Beeinflussung der nächtlichen Ausstrahlung in Bodennähe. Im wesentlichen bestehen in der Wirkung von Waldbestandsrändern auf die sie umgebenden Freiflächen einheitliche Auffassungen. Der frostmildernde Bereich liegt jedoch in einer Entfernung von unter 100 m vom Waldrand. Unter Einbeziehung der Untersuchungen von Lütze (1961) und Weise (1975) lagen die Unterschiede in den mittleren nächtlichen Minima in Bodennähe zwischen Waldrand und Freifläche in einem Bereich zwischen 0,5 bis 1,5 K, also einer Größenordnung, die für praktische Belange durchaus von Bedeutung sein kann. Besonders die nach Süden exponierten Waldränder stellen im Frühjahr und Herbst echte thermische Gunstlagen dar, was aber, wie die Untersuchungen von Lauscher (1953) beweisen, zu gehäuftem Auftreten von Forstschädlingen führen kann. Besonders die durch die Exposition bedingten mikroklimatischen Faktoren führten zum Beispiel in Österreich zu massenhaftem Vorkommen von *Ocneria monacha* L., der Nonne. Der Phasenvorsprung der Baumstammtemperatur gegenüber der Waldbodentemperatur führte zur sogenannten „Nonnenkatastrophe“ (1946), denn die Parasiten der Nonne schlüpften durch diese Zeitverzögerung erst später aus dem Erdreich, während die Nonnen an den früher erwärmten Stämmen ihre Eigelege bereits verlassen hatten.

Abgesehen von negativen Wirkungen größerer geschlossener Siedlungen (erhöhte Umweltbelastung durch Lärm, Luftverschmutzung, Düsen- und Echoeffekte), kann man das Bestandsklima von Siedlungen (in ausgeprägtester Form das Stadtklima) thermisch zu den Gunstarealen rechnen. Starke Erwärmung im Sommer (fehlende Verdunstungsmöglichkeiten, stärkere Absorption der Wärmestrahlung) sowie durch Heizung der Gebäude bedingte verminderte Abkühlung im Winter lassen zum Beispiel das Stadtklima als wärmegünstig gegenüber dem Umland erscheinen. Je nach der Wärme- bzw. Temperaturleitfähigkeit des Gebäudebestandes (durch Baumaterial bedingt) wird eine frostmildernde Wirkung auf die Umgebung erzielt, die sich makroklimatisch gering auswirkt und meso- und mikroklimatisch auf wenige Dekameter Entfernung von geschlossenen Siedlungen beschränkt; dieser Einfluß kann zum Beispiel geringe Frostmilderung in siedlungsnahen Bereichen der Gemüse- und Obstgärten bewirken (Weise 1975); der obengenannte positive thermische Einfluß offener Siedlungen (Einzelgebäude mit dazwischen befindlichen Freiflächen) ist äußerst schwach und für eine Frostmilderung nur von sehr geringer Bedeutung.

Im Zusammenhang mit dem Einfluß von fließenden bzw. stehenden Gewässern auf die Temperaturverhältnisse stellt sich die Frage einer Frostmilderung auf die Umgebung. Unter Hinweis auf die makroklimatische Wirkung von Gewässern betont Alissow (1956), daß sich solche See-Einflüsse relativ zur Seegröße nur sehr begrenzt auswirken, und daß eine Frostmilderung nur bei sehr großen und tiefen (ab 4 m Tiefe) Seen nennenswert ist; durch Bewuchs (Schilf-, Busch- und Baumbestand) sowie durch die Bebauung können solche Gewässereinflüsse sogar vorgetauscht werden (Zercher 1967; Borusko 1956). Meso- und mikroklimatisch können Gewässereinflüsse von Bedeutung sein. Der Vergleich von gewässernahen Standorten (20 bis 30 m Entfernung vom Gewässer, hier im Bereich der Havelniederung westlich von Werder) mit entsprechenden gewässerferneren Standorten (200 bis 300 m Entfernung) zeigte besonders in Nächten mit starker Ausstrahlung in den mittleren nächtlichen Minima eine thermische Begünstigung der gewässernahen Standorte (im Mittel 1,2 K höhere Werte); bei einer Meßhöhe von 50 cm über Flur reicht dieser Einfluß jedoch kaum weiter als 50 m in Richtung des ufernahen Landes. Bei zyklonalen Wetterlagen konnte obengenannte

Beeinflussung nicht festgestellt werden. Die Untersuchungsergebnisse weisen also auf eine Frostmilderung hin; zum anderen wird aber auch die Möglichkeit angedeutet, daß es bei starker Ausstrahlung über feuchten Flußniederungen relativ frühzeitig zur Ausbildung von Nebel kommen kann, der dann eine weitere stärkere Abkühlung der Luft unterhalb seiner Obergrenze unterbindet. Da in den Flußniederungen ausreichend Luftfeuchtigkeit zur Verfügung steht, können die relativ hohen nächtlichen Minimaltemperaturen recht häufig auftreten, deren Ursache hier auf Grund obengenannter Tatsachen aber nur indirekt auf den Gewässereinfluß zurückzuführen ist.

Eine weitere Möglichkeit der indirekten Wirkung von Flüssen und Seen ist durch die Entstehung des sogenannten „Unterlichtes“ und seine Bedeutung auf die mikroklimatischen Verhältnisse gegeben. Die durch Gewässer zusätzlich entstehende Reflexstrahlung kann sich günstig auf die thermischen Verhältnisse im mikroklimatischen Bereich der West- und Ostufer von Gewässern auswirken und besonders im Frühjahr zu einer Verfrühung der Pflanzenentwicklung in diesen Bereichen führen. Nach Volk (1934) betrug im März das Unterlicht an einem steilen Hang (Maingebiet) 65 % des Oberlichtes. Bei der Interpretation geländeklimatologischer Untersuchungsergebnisse zeigten sich beispielsweise ähnliche Verhältnisse; so wiesen die nach den Havelseen exponierten Hänge im Mittel höhere Temperaturen auf (phänologisch nachweisbar) als die gleichartig gestalteten Hänge gewässerfernerer Bereiche; die Ursachen für diese Unterschiede sind möglicherweise auf obengenannten Unterlichteffekt zurückzuführen.

S c h r i f t t u m

- Alissow, B.: Lehrbuch der Klimatologie, Berlin 1956.
- Barsch, H., u. H. Richter: Physische Geographie der DDR, Lehrbrief f. das Fernstudium, Potsdam 1974.
- Barsch, H., A. Schuster-Kröber u. A. Weise: Beziehungen zwischen Relief, Boden, Vegetation und Geländeklima — dargestellt am Beispiel des Havelgebietes nordwestlich von Werder. *Wiss. Zeitschrift PH „Karl Liebknecht Potsdam“* 13 (1969) 967—977.
- Borusko, J.: Der Gewässereinfluß auf die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit des umliegenden Gebietes. *Trudy glav. geofiz. observ. imeni A. J. Voejkova* 59 (1956) 69—75.
- Sundborg, A., u. E. Bylund: Lokoklimatische Einflüsse auf die Platzwahl der Siedlungen. *Ymer Stockholm* 1 (1952) 1—30.
- Geiger, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht, Braunschweig 1961.
- Großer, K.-H.: Beiträge zur Untersuchung des Stammraumklimas und der Luftverschmutzung verschiedener Wald-Bestandstypen in der Umgebung von Berlin. *Archiv Natursch. u. Landsch.* 14 (1974) 117—138.
- Hayes, G.: Influence of altitude and aspect on daily variations in factors of forest — fire danger. *US. Dep. of Agric., circular 591*, Washington (1941).
- Henry, A.: Cox on thermal belts and fruit growing in North Carolina, *Month. Weather Rev.* 51, 1924.
- Heyer, E.: Einige Fragen der Mikro- und Mesoklimatologie. *Z. Erdkundeunterricht* 1 (1967).
- Heyer, E.: Witterung und Klima, Leipzig 1975.
- Kaempfert, W., u. A. Morgen: Die Besonnung. *Z. Meteorologie* 6 (1952) 138—146.
- Lauscher, F.: Die Rolle mikroklimatischer Faktoren beim Massenaufreten von Forstschädlingen. *Wetter u. Leben* 5 (1953) 195—200.
- Leser, H.: Physiogeographische Untersuchungen als Planungsgrundlagen für die Gemarkung Esslingen am Neckar. *Geogr. Rdsch.* 25 (1973) 308—318.
- Lütze, R.: Das Temperaturklima von Waldbeständen und -lichtungen im Vergleich zur offenen Feldflur. *Arch. f. Forstw.* 10 (1961) 17—83.

- Müller, H.-M.: Phänologisch geländeklimatologische Untersuchungen in Schwedisch-Lappland. *Erdkunde* 3 (1977) 178—191.
- Volk, O.: Ein neuer für botanische Zwecke geeigneter Lichtmesser. *Ber. Dt. Bot. Gesell.* 52 (1934) 195—202.
- Weise, A.: Unterlagen zur Arbeitsexkursion der Arbeitsgruppe Landschaftsökologie der geographischen Gesellschaft der DDR im Havelgebiet westlich von Werder. Potsdam, 1968.
- Weise, A.: Der Einfluß von Relief- und Bodenformen auf das Geländeklima unter besonderer Berücksichtigung der Temperaturverhältnisse — dargestellt an ausgewählten Beispielen des Havelgebietes nordwestlich von Werder. Diss. A, Potsdam 1975.
- Weise, A.: Der Einfluß ausgewählter Relief- und Bodenformen auf das Geländeklima unter besonderer Berücksichtigung der Extremwerte der Lufttemperatur. *Geogr. Ber.* (im Druck).
- Weise, A.: Zum Auftreten der „Warmen Hangzone“ im Tiefland der DDR. *Z. Meteorologie* 5 (1978).
- Weise, A.: Zum Problem der Temperaturvoraussage (nächtliche Minima) auf Grund von Erfahrungswerten mehrerer Jahre. *Naturschutzarb. Berlin und Brandenburg* 1 (1978).
- Weise, A.: Zum Problem der Frostgefährdung im Obstbau unter Berücksichtigung von Gebieten mit geringer Reliefenergie. *Arch. Gartenbau, Berlin* 26 (1978) 349—359.
- Weise, A.: Beobachtungen zur nächtlichen Kaltluftbewegung im Havelgebiet nordwestlich von Werder. *Naturschutzarbeit in Berlin und Brandenburg* (im Druck).

Dr. Andreas Weise
DDR - 1513 Wilhelmsdorf
Straße der DSF 34