

DIE WISSENSCHAFT

VERGLEICHENDE DARSTELLUNGEN AUS DER NATUR-
WISSENSCHAFT UND DER TECHNIK · BD. 78

RUDOLF GEIGER

DAS KLIMA DER BODENNAHEN LUFTSCHICHT



INSTITUT F. MET. U. KLIMAK.
TECHN. HOCHSCHULE HANNOVER

J IV 1(a)

RIEDR. VIEWEG & SOHN
BRAUNSCHWEIG

DIE WISSENSCHAFT

HERAUSGEBER PROF. DR. WILHELM WESTPHAL

BAND 78

Das Klima
der bodennahen Luftschicht

ein Lehrbuch der Mikroklimatologie

von

Rudolf Geiger



Zweite, völlig umgearbeitete Auflage

181 Abbildungen

FRIEDR. VIEWEG & SOHN, BRAUNSCHWEIG

1942

I n h a l t

	Seite
Vorwort zur 1. Auflage.....	V
Vorwort zur 2. Auflage.....	VI
Grundkapitel: Das Mikroklima und die Mikroklima- forschung	1
Die bodennahe Störungszone. Großklima oder Makroklima. Das Klima der bodennahen Luftschicht. Pflanzenklima gegenüber Menschenklima. Mikroklima. Definitionen. Geschichte der Mikroklimatologie. Stellung zu den Nachbarwissenschaften.	

E r s t e r T e i l

Vom Mikroklima, das in der bodennahen Luftschicht durch die Nähe der Bodenoberfläche entsteht

I. Abschnitt: Der Wärmeumsatz in der bodennahen Luftschicht

1. Kapitel: Der Wärmeumsatz an der Bodenoberfläche um Mittag. Der Einstrahlungstypus 6
 Verwertung der Sonnenstrahlung. Bedeutung der Bodenoberfläche. Vollstrahlung und Horizontalstrahlung. Strahlung im Gebirge. Wärmeumsatz um Mittag. Der Einstrahlungstypus. Die großen Temperaturgradienten und die Staubhosenbildung.
2. Kapitel: Der Wärmeumsatz an der Bodenoberfläche bei Nacht. Der Ausstrahlungstypus 17
 Ausstrahlung, Gegenstrahlung, effektive Ausstrahlung. Bewölkungseinfluß. Strahlung nach verschiedenen Himmelsrichtungen. Ausstrahlung in Mulden, Furchen und Tälern. Ausstrahlung im Gebirge. Der Wärmeumsatz bei Nacht. Der Ausstrahlungstypus.
3. Kapitel: Die echte Wärmeleitung. Der normale Temperaturverlauf im Boden 28
 Überblick über die vier Formen der Wärmeübertragung. Gesetze der Wärmeleitung im Boden. Wärme- und Temperaturleitfähigkeit. Täglicher und jährlicher Temperaturgang im Boden. Witterung und Bodentemperatur. Der Boden als Wärmespeicher. Bodentemperatur im Gebirge.

4. Kapitel: Der Massenaustausch und seine Bedeutung 38
 Laminare und turbulente Strömung. Grundgleichung des Austausches. Der Austauschkoeffizient. Seine Änderung mit der Höhe. Die blättrige Struktur der bodennahen Luftschicht. Dynamischer und thermischer Austausch. Beispiele für die Wirkung des Austausches. Samenverbreitung.
5. Kapitel: Der Strahlungsumsatz in der bodennahen Luftschicht 48
 Die Luft als Bandenstrahler. Absorptionsbanden des Wasserdampfs und der Kohlensäure. Strahlungsscheinleitung. Wellenlängentransformation am Boden. Ausbildung der nächtlichen Inversion. Langwellige Strahlung bei Tage.

II. Abschnitt: Die Temperaturverhältnisse der bodennahen Luftschicht

6. Kapitel: Der Erwärmungsvorgang 53
 Die bodennahe Grenzschicht. Temperaturen im ersten Millimeter über dem Boden. Der dunkle Streifen. Einleitung des Austausches. Die bodennahe Zwischenschicht und Oberschicht. Aufstrudeln der Heißluft. Temperaturunruhe. Temperaturstreubänder. Abkühlung am Boden durch Umschichtung. Theoretisches.
7. Kapitel: Der Abkühlungsvorgang..... 63
 Stabilität der nächtlichen Temperaturschichtung. Bedeutung des Staubgehalts. Kältekonvektion. Der Vorrang der Strahlungsvorgänge. Minima über der Bodenoberfläche. Typen abendlicher Temperaturverteilung. Aufbau und Zerstörung der nächtlichen Kaltfluthaut.
8. Kapitel: Der tägliche und jährliche Gang der Temperatur 69
 Der Wunsch nach statistischem Material. Beobachtungstechnik. Wahre Lufttemperatur und Versuchskörpertemperatur. Vor- und Nachteile beider Methoden. Täglicher und jährlicher Temperaturgang nach Messungen in Europa, Ägypten und Indien. Tagestemperaturschwankung in Bodennähe. Häufigkeit der Frostwechsel. Einfluß der Bewölkung.
9. Kapitel: Der Temperaturgradient in der bodennahen Luftschicht..... 79
 Häufigkeitsverteilung der vorkommenden Gradienten. Täglicher und jährlicher Gang. Vorzeichenwechsel des Gradienten am Morgen und Abend. Einfluß von Wasserdampfgehalt und Bewegung der Luft. Gradienten bei Bodennebel.

III. Abschnitt: Die anderen meteorologischen Elemente in der bodennahen Luftschicht

10. Kapitel: Die Feuchtigkeitsverhältnisse 88
 Rolle der bodennahen Luftschicht im Wasserhaushalt. Der Naßtyp der Feuchtigkeitsverteilung als Normaltyp. Der Trockentyp. Änderung des Dampfdrucks und der relativen Feuchtigkeit mit der Höhe im Tagesgang. Beobachtungen in Deutschland, Finnland und Indien. Zusammenfassung. Feuchtigkeitsschwankung in Bodennähe. Mikroklimatische Methoden der Feuchtigkeitsmessung.
11. Kapitel: Die Windverhältnisse 100 x
 Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe. Abhängigkeit von Temperaturgradient und Unterlage. Tagesgang der Windgeschwindigkeit. Häufigkeit der Windstillen am Boden. Transport von Staub und Schnee. Temperaturwirkung des Windes bei Nacht. Inversionszerstörung. Temperaturgradient, Windgradient und Windgeschwindigkeit in ihrer gegenseitigen Verflechtung. Der Sturm tötet das Mikroklima.
12. Kapitel: Optische, akustische und andere Erscheinungen 114
 Optische Inhomogenität der bodennahen Luftschicht. Schlierenbildung. Die Luftspiegelung nach unten. Elektrisches Feld. Gehalt an Radiumemanation. Schallausbreitung.

IV. Abschnitt: Der Einfluß der Unterlage auf das bodennahe Klima

13. Kapitel: Die Temperaturen der Bodenoberfläche 122
 Reflexzahl für drei Spektralbereiche und verschiedene Oberflächen. Definition der Oberflächentemperatur. Direkte und indirekte Messung derselben. Quecksilberthermometer, elektrische Thermometer, Bügeleisenmethode, Wackskugelmethode. Temperaturen auf Asphalt. Vergleich mit Schwarzkugelmethode. Einfluß der Oberflächenfarbe. Technische Oberflächen. Eisenbahnschienen. Das Auffrieren des Bodens.
14. Kapitel: Einfluß von Bodenart und Bodenzustand 132
 Grenzgebiet zur Bodenkunde. Temperaturgang in verschiedenen Bodenarten. Extreme und gemäßigte Mikroklimata. Einfluß der Bodenbearbeitung und der Bodenfeuchtigkeit. Beobachtung der Bodeneigenschaften bei Schneefall, Reifbildung und Glatteis.
15. Kapitel: Die wassernahe Luftschicht 145
 Das Wasser als austauschfähiger Boden. Eindringtiefe der Strahlung. Abhängigkeit der Reflexzahl der Wasseroberfläche von der Sonnenhöhe. Temperaturen des Oberflächenwassers im Meere, in Seen und in Tümpeln. Tagestemperaturschwankung über dem Ozean. Die wassernahe Luftschicht über der Ostsee. Messungen in Teich und Schilf.

16. Kapitel: Die schneenahe Luftschicht..... 155
 Reflexzahl der Schneeoberfläche. Lichtklima über Schnee. Strahlungsdurchlässigkeit der Schneedecke. Temperaturen in und über der Schneedecke. Wärmeschutz. Frostfeste, tauende und lückige Schneedecke. Abschmelztrichter und Eisplattenbildung.
17. Kapitel: Die Luftschicht über einem lebenden Bodenüberzug (Rasendecke) 166
 Einfluß einer Pflanzendecke. Grasminimumthermometer. Schon Kümmerwuchs mildert die hohen Bodentemperaturen. Die Fußringelkrankheit. Vergleich von Rollfeld und Rasenfläche am Flugplatz. Temperaturbeobachtungen in der Rasendecke.
- Anhang: Über die quantitative Erfassung des Wärmehaushalts der Bodenoberfläche 174
 Bedeutung, Umfang und Geschichte des Problems. Die vier Hauptstücke des Wärmeumsatzes. Messungen bei Schneelage. Wärmeumsatz in den vier Jahreszeiten nach Messungen in Potsdam und Pälkäne.

Zweiter Teil

Das Mikroklima in seinen Beziehungen zur Geländegestaltung, zu Pflanze, Tier und Mensch

- Einleitung: Eine grundsätzliche neue Art von Mikroklimabildung 179
 Mesoklimatologie, Bioklimatologie.

V. Abschnitt: Der Einfluß des Geländes

- *18. Kapitel: Kaltluftfluß und Kaltluftstau 181
 Entstehung der Kälteseen. Abfluß und Aufstau der Kaltluft. Frostflächen bei München und Eberswalde. Die Doline Gstettneralm. Wirkung auf Pflanzen- und Tierwelt. Der Kältepol der Erde mikroklimatisch bedingt. Maastalkatastrophe 1930. Geschwindigkeit gleitender Kaltluft, Rhythmus abtropfender Kaltluft.
19. Kapitel: Nächtliche Temperaturverhältnisse in Tälern 190
 Unterschied von Kaltluft- und Wasserbewegung. Warme Hangzone. Abendliches Hochwandern der Inversion. Höhenlage der warmen Hangzone und Beziehung zur Pflanzenwelt. Beispiele vom Arber. Zeitlicher Temperaturverlauf. Sichtbarwerden der nächtlichen Temperaturschichtung.
- *20. Kapitel: Die Kaltluftwinde (Hangabwind, Talabwind und Gletscherwind) 197
 Kaltluftfluß, Hangabwind und Talabwind. Der Wisperwind. Luftlawinen in Europa und Afrika. Der Gletscherwind als Tageskaltluftwind.

21. Kapitel: Die Besonnung der verschiedenen Hanglagen 201 x
 Berechnung der Hangbestrahlung. Diffuse Strahlung und Schlechtwetter verwischen die Hangunterschiede. Einfluß der geographischen Breite und Seehöhe. Grundregeln der Bestrahlung verschiedener Hänge. Tägliche Wärmesummen. Bodentemperaturen rings um einen Hügel. Temperaturen an Felsenhängen.
22. Kapitel: Mikroklimatische Auswirkung der verschiedenen Besonnung 213
 Ameisennest und Termitenbau. Temperaturen stehender und liegender Baumstämme. Rindenriß und Rindenschale. Aufblühzeiten rings um einen Baum. Kompaß- und Gnomonpflanzen.
23. Kapitel: Die Lufthaut an Berghängen 223 x
 Nachweis der Lufthaut an Berghängen. Einfluß der Pflanzendecke. Feuchtigkeit in der Lufthaut. Niederschlag auf den geneigten Hang. Die feuchten Ostseiten.
24. Kapitel: Weiteres zum Geländeeinfluß 229
 Tagesgang von Temperatur und Feuchtigkeit im Tal, am Hang und auf dem Gipfel. Temperaturabnahme mit der Höhe in Abhängigkeit von Wetter und Tageszeit. Mikroklimatische Streuung der Temperaturwerte überdeckt den Einfluß der Seehöhe. Bergatmosphäre, Gebirgsatmosphäre, Einflußzone. Hangaufwind und Talauftwind. Die Pflanzendecke als Anzeiger des Hanglagenklimas. Beispiele.
25. Kapitel: Vom Geltungsbereich meteorologischer Stationen 239
 Die „repräsentative“ Beobachtungsstation. Wunsch nach Verdichtung des Großklimanetzes. Die Mikroklimatologie vergrößert den Geltungsbereich der Station. Begutachtung unbekannter Ortsklimata. Strahlungsverhältnisse. Abschattung durch Berge. Mittlerer Abschirmwinkel, Raumwinkel des freien Himmelsstücks und Betrag der vollkommen diffusen Strahlung. Windeinfluß. Stichprobenmessungen. Beachtung der Pflanzendecke. Mikroklimatische Sondernetze.
- Anhang: Das Mikroklima in Höhlen 246
 Einseitig offene Höhlen. Eishöhlen. Sackhöhlen. Kältespeicher. Zweiseitig offene Höhlen. Windröhren.

VI. Abschnitt: Der Einfluß der Pflanzendecke

26. Kapitel: Der Wärmehaushalt der Pflanzen und die Pflanzentemperaturen 250 x
 Strahlungshaushalt der Blätter. Reflexzahl in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Durchlässigkeit. Blauschatten und Grünschatten. Absorption. Ausstrahlung. Abwehrmaßnahmen der Pflanze. Unterschied von Pflanzen- und Lufttemperatur. Methoden und Ergebnisse der Pflanzentemperaturmessung. Temperaturen in Tüten.

- ✕ 27. Kapitel: Strahlungs- und Temperaturverhältnisse
 in einer niederen Pflanzendecke 263
 Bodenüberzug, niedere Pflanzendecke und Wald. Strahlungs-
 haushalt. Äußere tätige Oberfläche. Messung der Temperatur-
 schwankung. Einfluß von Struktur, Dichte und Größe des
 Pflanzenbestandes. Tagestemperaturgang. Mikroklima in
 Weingärten. Messungen unter tropischen Verhältnissen in
 Indien und Afrika.
- ✕ 28. Kapitel: Feuchtigkeits- und Windverhältnisse in
 einer niederen Pflanzendecke 275
 Wasserdampfumsatz in der Pflanzendecke. Einfluß der Be-
 standsdichte. Relative Feuchtigkeit zwischen Blättern. Meß-
 reihen aus Vorderindien. Der Tau. Bremsung des Windes.
 Rauigkeitshöhe. Einfluß der Windgeschwindigkeit und der
 Art der Pflanzendecke auf die Bremsung. Abkühlungsgröße.
29. Kapitel: Forstmeteorologie, Waldklima, Bestands-
 klima 286
 Aufgabe der Forstmeteorologie. Begriff des Standortklimas
 und Waldklimas. Einfluß des Waldes auf das Großklima.
 Forstliche Doppelstationen zur Untersuchung des Stamm-
 raumklimas. Begriff des Bestandsklimas. Methoden zu
 seiner Erforschung.
30. Kapitel: Die Strahlungsverhältnisse im Altbestand 294
 Schwächung und Filterung der Zustrahlung durch den Bestand.
 Einfluß der Holzart und des Bestandsalters. Wandernde
 Lichtflecke. Trübweather-Helligkeitskarten. Beleuchtung ge-
 neigter Flächen im Bestand. Ausstrahlung des Kronendaches.
31. Kapitel: Temperatur- und Feuchtigkeitsverhält-
 nisse im Altbestand 301
 Sommerlicher Temperaturtagesgang im Bestand vom Wald-
 boden bis über die Kronen. Temperaturschichtung bei Nacht
 und Tag. Verteilung der Luftfeuchtigkeit im Bestand. Der
 Waldboden und der Kronenraum als Wasserdampfspender.
32. Kapitel: Wind und Niederschlag im Altbestand... 310
 Abbremsung der Windgeschwindigkeit durch den Bestand.
 Luftruhe im Stammraum. Einfluß der Belaubung. Abfangen
 schwacher Niederschläge durch die Kronen. Schaftablaufendes
 Wasser. Durchfallen des Schnees zum Waldboden. Tem-
 peraturwirkung der Schneelage. Frostteller unter Fichten.
33. Kapitel: Der Einfluß der Bestandsverfassung auf
 das Bestandsklima 316
 Die forstliche Mikroklimatologie als Hilfswissenschaft des
 Waldbaus. Temperaturmeßfahrten im Wald. Bestände mit
 gleichmäßigem Kronendach und mit Stufenschluß. Gruppe
 und Schirm.

34. Kapitel: Das Mikroklima der Lochschläge, Lichtungen und Schneisen 324 ✕

Kenngröße von Lochhieben. Ausstrahlungs-, Einstrahlungs- und Belüftungsverhältnisse. Zunahme der Frostgefährdung mit Vergrößerung der Lochhiebe. Kritische Größe. Ausstrahlung und Besonnung von Waldschneisen. Windbewegung auf Schneisen.

35. Kapitel: Die Bestandsrandklimare 329

Außensaum und Innensaum. Zwei Ursachen für die Bestandsrandklimare. Wärmestrahlung durch Sonne und Himmel. Schattenbreite an Bestandsrändern. Frostschutz durch Ausstrahlungsschutz. Passiver und aktiver Einfluß des Waldes auf das Windfeld. Tageswaldwind und nächtlicher Waldwind. Samenverbreitung am Bestandsrand. Der Nebelniederschlag und seine Bedeutung. Zukünftige Forschungsaufgaben.

VII. Abschnitt: Die Beziehungen von Tier und Mensch zum Mikroklima

36. Kapitel: Die Tierwelt und das Mikroklima 339

Bedeutung der Mikroklimatologie für die Zoologie. Bioklimatische Leitformen. Standortsgebundene und standortstete Tiere. Schutz vor Strahlung, Hitze, Trockenheit und Wind. Ameisen, Heuschrecken und Hühner als Beispiele. Anlage der Behausungen: Ameisenbauten, Kaninchenbauten. Winterschlafplatz der Abendsegler. Übertemperierung der Wespen- und Hummelnester. Die forstliche Entomologie und die Mikroklimaforschung.

37. Kapitel: Die unbeabsichtigte Einwirkung des Menschen auf das Mikroklima 347

Instinktmäßige Reaktion auf das Mikroklima und rationale Mikroklimasuche. Der Mensch als Mikroklimazerstörer. Verarmung und Eintönigkeit der kultivierten Natur. Schaffung neuer Mikroklimare durch Industrialisierung und Städtebau. Gefahren der Vernachlässigung der Mikroklimawirkungen. Flugerdebildung.

38. Kapitel: Das Stadtklima 351

Zwei Forschungsmethoden. Bedeutung des Stadtklimas. Erwärmung und Verunreinigung der Stadluft durch die Feuerungen. Staubgehaltmessungen. Die Dunsthaube. Wirkung auf Wärmehaushalt und Temperaturen. Luftfeuchtigkeit in Stadt und Land. Das eigene Windsystem der Stadt. Stadtnebel. Auslösung der Niederschläge im Stadtgebiet.

- ✕ 39. Kapitel: Die bewußte Beeinflussung des Mikroklimas durch den Menschen 358

Rationelle Klimasuche. Kurortklimatologie und ihre Beziehung zur Mikroklimatologie. Bewußte Mikroklimagestaltung. Kleidungs- und Bettklima. Wohnraumklima. Zweck-

mäßigkeit der künstlichen Klimatisierung. Haus- und Stadtklima. Anlage von Krankenhäusern. Mikroklima der Tierställe. Gewächshausklimata. Land- und forstwirtschaftliche Mikroklimamaßnahmen. Windschutz. Wirkung von Waldschutzstreifen. Frostschutz.

40. Kapitel: Der Schadenfrost als Mikroklimaerscheinung	367
Früh- und Spätfröste. Sommernachtfröste. Seehöhe und Spätfrostgefährdung. Bedingungen für das Auftreten von Schadenfrösten. Der Grasfrost. Vorbeugende Frostschutzmaßnahmen. Vorwald aus frostharten Holzarten. Regulierung des Frosteinzugsgebietes. Rechtzeitige Frostwarnung durch Vorhersage und Alarmanlage.	
41. Kapitel: Die Bekämpfung des Schadenfrostes.....	373
Möglichkeit und Aussicht einer künstlichen Frostbekämpfung. Lage in Amerika und Europa. Arbeiten des Reichsamtes für Wetterdienst. Ausstrahlungsschutz durch Bedeckung mit Schirm oder Haube, durch Räuchern oder Überfluten. Heranschaffung von Wärme durch künstliche Beregnung, Inversionserstörung oder Heizung. Erfahrungen und Erfolge.	
Schrifttum	383
Namenverzeichnis	422
Sachverzeichnis	429
Quellennachweis für die Abbildungen	436