

IX

Da der Einfluß des Windes auf die Vegetation seit her stark übertrieben oder falsch eingeschätzt wurde, ist es an der Zeit, das Windschutzproblem neu zu überdenken. Wenn die Ernteerträge (W. KREUTZ) hinter den Waldstreifen der russischen Steppe in trockenen Jahren ein Vielfaches der Ernte in der offenen Landschaft sind, und wenn außerdem die Erträge von geschützten Flächen zwischen normalen und trockenen Jahren stark schwanken, ist die Annahme berechtigt, daß hier nicht die Transpiration, sondern die Evaporation den Ausschlag gibt. Nach TRANQUILLINI ist die Evaporation für $v=20$ m/sec viermal so groß wie bei $v=0,5$ m/sec. Die Erhaltung des Bestandsklimas, der Bodenbakterien, -feuchtigkeit, -struktur und des CO_2 -Vorrats könnten andere Maßnahmen (vgl. W. KREUTZ) besser leisten als die Waldstreifen.

In den Küstengebieten ist ein dichtes Windschutznetz am dringendsten erforderlich und am wenigsten ausgebaut. Seine wichtigste Aufgabe ist hier der Schutz der Weidetiere gegen Wärmeverlust und zu starke Sonneneinstrahlung. In der freien Wildbahn zieht sich jedes Tier nach der Äsung in seine Deckung zurück. Eine kleine Busch- oder Baumgruppe auf der Weide und eine Hecke rundum würden gegen die schlimmsten Witterungsunbilden schützen und das Wohlbefinden der Tiere verbessern. Der überhängende Weißdorn von Farbphoto 2 war der bevorzugte Aufenthalt zweier Pferde, weil sie auf ihrer Weide keinen anderen Unterschlupf fanden.

Literatur

BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimatologie. De Gruyter, Berlin 1966.
FLOHN, H.: Witterung und Klima in Mitteleuropa. 2. Aufl. Stuttgart 1954.

HOLTMEIER, F. K.: Der Einfluß der orographischen Situation auf die Windverhältnisse im Spiegel der Vegetation. Erdkunde XXV 1971, 178–195.

KÖSEL, D. H.: Gefahr für die „grüne Lunge“? Bild der Wissensch. X 1971.

KREUTZ, W.: Der Windschutz. Ardey Verlag, Dortmund 1952.

– : Bodenerwärmung und Trockenheit sowie Ursachen der Dürre im ungewöhnlich langen und heißen Sommer 1947. Zeitschr. für Meteorologie Juli/August 1950, 195–212.

RUNGE, F.: Windgeformte Bäume und Sträucher und die von ihnen angezeigte Windrichtung auf Terschelling. Met. Rundschau XI/XII 1955.

– : Windgeformte Bäume in den Tälern der Zillertaler Alpen. Meteorologische Rundschau XI 1958.

– : Windgeformte Bäume in den Tälern der Allgäuer Alpen. Meteorologische Rundschau XII 1959.

TRANQUILLINI, W.: Photosynthese und Transpiration einiger Holzarten bei verschieden starkem Wind. Centralblatt für das gesamte Forstwesen I/1969, 35–48.

– : Einfluß des Windes auf den Gaswechsel der Pflanzen. Umschau in Wissenschaft und Technik 26/1970.

TROLL, C.: Der Mount Rainer und das mittlere Cascadengebirge, Erdkunde IX 1955, 264–286.

WEISCHET, W.: Die Geländeklimate der Niederrheinischen Bucht und ihrer Randlandschaften. Münchener Geogr. Hefte Nr. 8 1955.

– : Die Baumneigung als Hilfsmittel zur geographischen Bestimmung der klimatischen Windverhältnisse (dargestellt am Beispiel der Köln-Bonner Bucht). Erdkunde V 1951, 221–227.

– : Geographische Beobachtungen auf einer Forschungsreise in Chile. Erdkunde XIII 1959, 6–22.

YOSHIMURA, M.: Die Windverbreitung im Gebiet des Mt. Fuji. Erdkunde XXV 1971.

FROST IN DEN NILGIRIS

Klimatologische und ökologische Beobachtungen in den kalten Tropen Südindiens¹⁾

Mit 5 Abbildungen, 6 Photos und 6 Tabellen

HANS J. VON LENGERKE

Summary: Frost in the Nilgiris—Climatological and Ecological Observations in the Cold Tropics of South India

¹⁾ Dieser Beitrag entstand auf der Grundlage klimatologischer Feldforschungen in Südindien (Juni 1972 bis Juli 1973) – angeregt von Herrn Prof. Dr. U. SCHWEINFURTH, Direktor des Instituts für Geographie am Südasien-Institut der Universität Heidelberg, und ermöglicht durch die freundliche Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD) sowie der Indischen Regierung (Ministry of Education and Social Welfare), wofür auch an dieser Stelle aufrichtig gedankt sei.

By discussing the spatial and temporal aspects of frost formation in the Nilgiris—its distribution, frequency and intensity—the author presents the first systematic investigation of frost in South India and thus fills a regional gap in our knowledge of this climatic phenomenon of the cold tropics. The analysis is based on all available, mainly unpublished and scattered information (instrumental as well as visual records) collected during field work in 1972/73. It reveals that in the Nilgiris, particularly in the central and western parts of the elevated plateau, night frost is an annually recurrent, though highly variable, climatic feature during a potential frost season of almost six months—from the third week in October to the second

week in April—with a maximum frequency in January. If surface and weather conditions are favourable to its formation, frost may occur from 1400 m above sea-level to the highest peak (Dodabetta, 2636 m) wherever topography allows the cold air near the ground to accumulate and stagnate during clear and calm nights. Frost forms a major hazard for the cultivation of both agricultural and silvicultural plants—including vegetables, potatoes or tea and eucalypts or wattles, respectively. In certain frost-prone areas damage may be very severe, so that expensive frost protection methods have to be applied in order to save the crop. Frost in the Nilgiris is, therefore, not only an interesting phenomenon from the climatological point of view, but it is also a challenging geocological problem that calls for further applied research.

Die „klassische“ Konzeption von den Tropen als der heißen bzw. warmen Zone der Erde, die sowohl polwärts als auch – den gebräuchlichen thermischen Parametern entsprechend (Jahres- oder Monatsmitteltemperaturen, beginnend mit SUPAN 1879, oder das Auftreten von Frost, SAPPER 1923) – vertikal begrenzt ist, erwies sich spätestens mit TROLLS wichtigen Arbeiten über die „Thermischen Klimatypen der Erde“ (1943a) und die „Frostwechselhäufigkeit in den Luft- und Bodenklimaten der Erde“ (1943b) als revisionsbedürftig. TROLL kritisierte vor allem die – z. B. in der Klimaklassifikation von KÖPPEN (zuletzt 1936; siehe auch Kartenbeilage in BLÜTHGEN 1966) enthaltene – Parallelisierung der klimatischen Höhenstufen der Gebirge in niederen geographischen Breiten mit den zonalen Klimatypen der mittleren und hohen Breiten; darüber hinaus lehnte er unter Hinweis auf das breitenspezifische, d. h. strahlungsbedingte und von der Meereshöhe weitgehend unabhängige Verhältnis von täglicher Temperaturschwankung zur Jahresamplitude der Temperatur eine „Obergrenze“ der Tropen ab.

Durch die Differenzierung zwischen thermischen Jahreszeitenklimaten der Außertropen und den thermischen Tageszeitenklimaten der Tropen (TROLL 1964) und durch die Einführung des Begriffs der warmen Tropen (VON WISSMANN 1948) war sogar das Auftreten von tagesperiodischem Frost und Frostwechseltagen in den höheren Lagen äquatornaher Gebirge (vgl. auch SCHWEINFURTH im Druck) nicht nur physikalisch, sondern auch terminologisch eindeutig als klimatisches Phänomen der Tropen – genauer: der kalten Tropen (TROLL 1964; LAUER 1975) – gekennzeichnet. Bei der kartographischen Darstellung der absoluten Frostgrenze in den kalttropischen Gebirgsregionen – d. h. oberhalb der Wärmemangelgrenze des lohnenden Kaffeeanbaus (18,3° C-Jahresisotherme; VON WISSMANN 1948, 86–88)²⁾ – be-

schränkte sich VON WISSMANN im australasiatischen Sektor der inneren Tropen auf den Mt. Kinabalu in Nordborneo und die Zentralkordillere auf Neuguinea (*ibid.*, Karte 2). Diese Beschränkung schien in erster Linie durch den kleinen Maßstab der Weltkarte geboten, doch sie entsprach auch weitgehend dem damals noch sehr lückenhaften Kenntnisstand über das Vorkommen und die Verbreitung von Frost in den süd- und südostasiatischen Tropen.

Inzwischen sind – nach der Bestandsaufnahme durch VAN STEENIS (1968) – einige regionale Lücken durch entsprechende klimatologische und ökologische Detailstudien geschlossen worden: für das Hochland der Insel Ceylon (Sri Lanka; DOMRÖS 1970, 1974; MARBY 1972; VON WERNER 1972), für die Pengalengan Highlands in West-Java (DOMRÖS 1976) und für die Zentralkordillere im Ostteil Neuguineas (BROWN/POWELL 1974; WADDELL 1972, 1974). Die genannten Untersuchungen unterstreichen alle, daß Frost in den Tropen nicht nur ein klimatologisch interessantes Phänomen, sondern vor allem ein komplexes geökologisches Problem darstellt, besonders in der Nähe der absoluten Frostgrenze, wo Nachtfröste nur unregelmäßig und – selbst kurzfristig – kaum vorhersehbar (vgl. VON LENGERKE 1978 im Druck) in dicht besiedelten und/oder intensiv bewirtschafteten Gebirgsräumen auftreten. Das verdeutlicht auch der von WADDELL (1974) ausführlich geschilderte Fall in den Hochtälern Papua-Neuguineas, wo von Juni bis Oktober 1972 (Südhemisphäre!) so schwere Frostschäden an den dort als Grundnahrungsmittel angebaute Süßkartoffeln (*Ipomoea batatas*) entstanden, daß über 130 000 Papuas in einem nationalen Notstandsprogramm (von Australien aus) Hilfe zur Überwindung der drohenden Hungersnot erhielten.

Eine besondere Schwierigkeit bei der klimatologischen Bearbeitung des Frostproblems besteht darin, daß sich das Auftreten von Frost – gerade in den tropischen Gebirgen – als zeitlich (nachts) wie räumlich (Mulden, Talsohlen usw.) begrenztes Phänomen in der Regel den weitmaschigen Beobachtungsstationsnetzen der nationalen Wetterdienste entzieht, weil deren Instrumente bevorzugt in exponierter Lage, d. h. an Hängen und auf Berggipfeln, installiert werden, um geländebedingte „Störfaktoren“ bei der Messung anderer atmosphärischer Elemente weitgehend zu eliminieren. Darüber hinaus werden

als 18,3° C-Isotherme des kältesten Monats definiert (vgl. hierzu auch VON LENGERKE, 1977a). Herr Prof. Dr. W. LAUER (Bonn) vertritt die Meinung, „daß die 18°-Jahresisothermie wohl nur in Asien – speziell in Indien – als Begrenzung der Tropen angesehen werden kann. In allen anderen Kontinenten liegt diese Linie vegetationsgeographisch wie auch zirkulationsdynamisch zu weit in die gemäßigten Breiten verschoben“ (freundliche briefliche Mitteilung vom 13. 4. 1977); vgl. auch LAUER/FRANKENBERG 1977.

²⁾ Abweichend davon wurde in seiner Karte „Die Klimate der Erde“ (Beilage in BLÜTHGEN 1966 einschließlich Begleittext, S. 528) die Wärmemangelgrenze versehentlich

Temperaturmessungen meistens nur in (strahlungsgeschützten) Wetterhütten (STEVENSON screens) und manchmal nur zu bestimmten Beobachtungsterminen durchgeführt.

Es überrascht daher nicht, wenn in einschlägigen Publikationen des *India Meteorological Department* (New Delhi/Poona) kaum etwas über die südindischen „Frosterwartungsgebiete“ der über 2000 m aufragenden Nilgiris, Palnis und Anaimalais zu erfahren ist, obwohl das Auftreten von Frost in den Nilgiris bereits seit 1812 belegt ist (VON LENGERKE 1977, 101). Die zum Thema „Frost in Indien“ vorliegenden klimatologischen Beiträge und Karten – z. B. ELIOT (1906), RAMDAS (1935, 1961, 1974), CHAKRAVORTTY (1950) oder großräumigere Darstellungen auf der Grundlage offizieller Statistiken wie bei BLÜTHGEN (1966, 109) – geben ausschließlich Auskunft über Nordwest-Indien, wo Frost meistens in Verbindung mit den sog. *cold waves*, d. h. advektiver Kaltluftzufuhr aus höheren Breiten vorkommt, während Südindien nicht erwähnt bzw. als frostfreies Gebiet gezeigt wird.

Die einzige nennenswerte, wenn auch knappe Studie zum „Frost in Südindien“ behandelt die Frosthäufigkeit auf der landwirtschaftlichen Versuchsfarm Nanjanad in den Nilgiris (s. u.) – charakteristischerweise anhand unveröffentlichter, im Gelände gemachter Beobachtungen zwischen 1930 und 1954 (BALASUBRAMANIAM/BAKTHAVATHSALU 1956). Sonst finden sich nur sehr vereinzelt Hinweise oder Daten zum Frost: in frühen Reiseschilderungen, Verwaltungsberichten und Handbüchern aus dem 19. Jh. sowie neuerdings in den Arbeiten des Institut Français in Pondicherry (LEGRIS/BLASCO 1969, BLASCO 1971 u. a.; weitere Literaturhinweise bei VON LENGERKE 1977). Die vom Verfasser durchgeführte Untersuchung in den Nilgiris ist daher der erste Versuch einer systematischen Analyse des Frostphänomens im südindischen Raum.

I. Das Untersuchungsgebiet

Die Nilgiris (oder „Blauen Berge“; Abb. 1) sind ein in erdgeschichtlich junger Zeit an tektonischen Leitlinien der West- und Ostghats und im Zusammenhang mit der Himalaya-Orogenese in Phasen gehobenes Rumpfschollengebirge des südlichen Deccan. Auffälligstes morphologisches Merkmal – und für das Frostphänomen von großer Bedeutung – ist seine massige, horstartige Gestalt. Auf einer Basisfläche von ca. 2400 km² (davon 40% über 1800 m bzw. 6000 feet) sind die Nilgiris gegliedert in (vgl. auch KREBS 1933):

(1) Das zentrale, nach Osten leicht geneigte und schmäler werdende Plateau, das im westlichen Teil noch weitgehend als welliges Flachrelief erhalten ist (z. B. in den Wenlock Downs, nordwestlich von Ootacamund, oder im Gebiet des Bhavani-Oberlaufs im

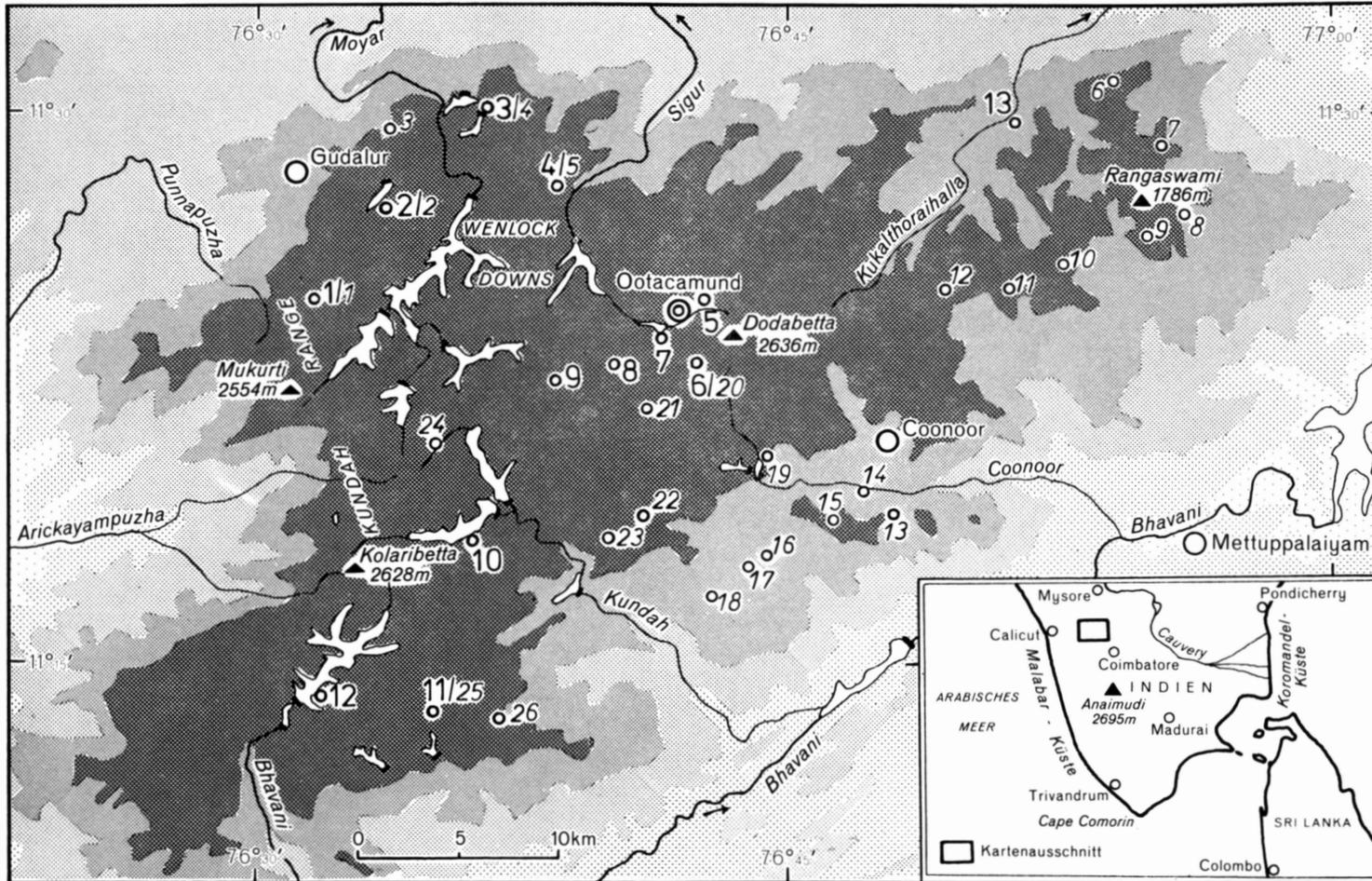
Südwesten). Überragt wird das Plateau von kuppigen Härtlingen und Inselbergen, im Bereich der Kundah Range von Höhen über 2500 m (Kolaribetta, Mukurti) und im zentralen Teil vom Dodabetta („großer Berg“), dem mit 2636 m zweithöchsten Berg des indischen Subkontinents südlich des Himalaya (nach dem Anaimudi, 2695 m, in den südlich der tektonischen Senke von Palghat gelegenen Anaimalais oder „Elephantenbergen“).

(2) Die nach allen Seiten markanten, größtenteils dicht bewaldeten Stufen: die 1000–1200 m hohe Sigur Ghat zum Mysore-Plateau im Norden, die 1200–1500 m hohen Eastern Slopes und die Coonoor Ghat zur Ebene von Coimbatore im Osten resp. Süden und die über 2000 m hohen Western Slopes zum Malabar-Tiefeland. Je nach Verlauf und Exposition der tektonisch vorgezeichneten Erosionslinien wurden diese Bruchstufen mehr oder weniger kräftig von den zahlreichen Bächen zertalt, die das Plateau – stellenweise über bis zu 120 m hohe Wasserfälle – nach Norden zum Moyar, nach Südosten zum Bhavani sowie die Kundah Range zum Arabischen Meer entwässern.

Die Nilgiris fallen weitgehend zusammen mit dem gleichnamigen, zum Bundesstaat Tamil Nadu (früher: Madras) gehörenden District mit Verwaltungssitz in Ootacamund, dem bereits in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts als erste südindische *hill station* (vgl. hierzu MITCHELL 1972) am Westfuß des Dodabetta gegründeten Hauptort des Gebirges. Mit über 60 000 Einwohnern ist Ootacamund oder „Ooty“ – wie es von den Einheimischen und den zahlreichen Touristen meistens genannt wird – nicht nur größte Stadt, sondern zugleich zentraler Ort des land-, forst- und energiewirtschaftlich intensiv genutzten Plateaus, dessen Hauptprodukte Gemüse (einschließlich Kartoffeln, *Solanum tuberosum*), Tee (*Camellia sinensis*) und Kaffee (*Coffea arabica*) sowie Elektrizität und Holz (vor allem schnellwüchsige australische Arten, *Eucalyptus* und *Acacia spp.*) sind.

II. Das Beobachtungsmaterial

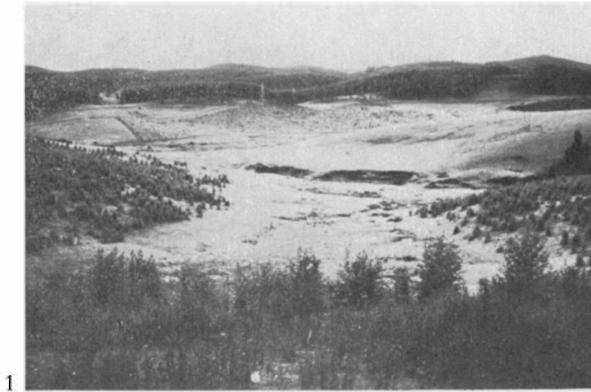
Die bereits oben erläuterte Schwierigkeit der Frostanalyse in tropischen Gebirgen gilt auch für die Nilgiris, in denen nur zwei Wetterstationen vom *India Meteorological Department* unterhalten werden: Ootacamund (in 2249 m über NN, seit 1901) und Coonoor (1747 m, seit 1928). Daher war diese Studie angewiesen auf halboffizielle und private unveröffentlichte Daten sowie auf eigene und in der älteren Literatur verstreut zu findende Beobachtungen im Gelände. Das gesammelte Material setzt sich aus zwei Informationstypen zusammen, die qualitativ oder quantitativ über das räumliche und zeitliche Auftreten von Frost und seine Intensität Auskunft geben:



1 Terrace, 2 Liddlesdale, 3 Glenmorgan, 4 Dunsandle, 5 Botanical Gardens, 6 Lovedale, 7 Meghdoot Cottage, 8 Ree's Corner, 9 Nanjanad, 10 Avalanche, 11 Korakundah, 12 Billithadahalla, 13 Marvahulla

Abb. 1: Die Nilgiris: Orientierungskarte. Stationen 1–26 siehe Tabelle 5.

The Nilgiris: Outline Map. (Including observation sites mentioned in the text.) For stations 1–26 see Table 5.



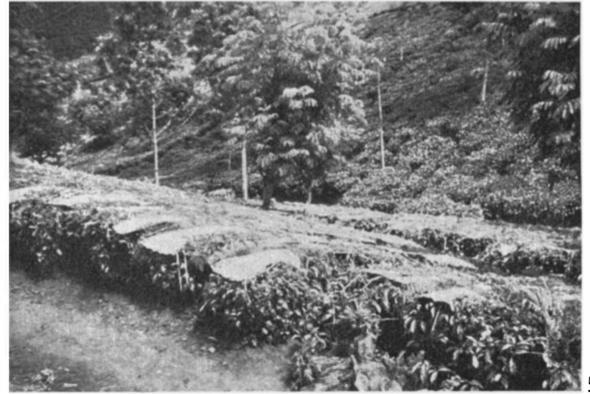
1



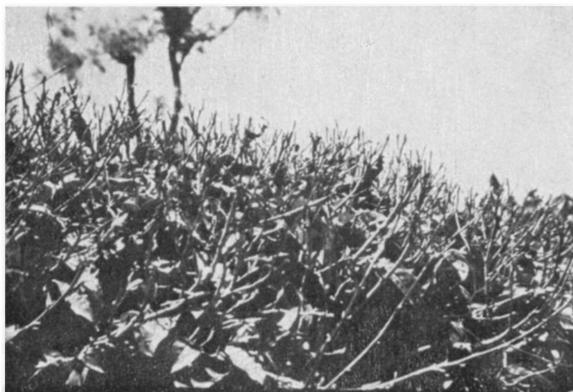
4



2



5



3



6

Photo 1: Reifüberzogene Frostmulde in den Nilgiris, Wenlock Downs, 9 km nordwestlich von Ootacamund. Aufgeforstete Kuppen und grasbedeckte Hügel (Mittelgrund, rechts) frostfrei. *Eucalyptus globulus* – Pflanzung an unteren Hangpartien stark dezimiert durch Frostschäden in 1971/72, damit guter Indikator für Frostintensität, da relativ hohe Frost-Resistenz dieser Spezies bekannt (bis -4°C ; vgl. J. WECK: Die Wälder der Erde. Berlin 1957, p. 131).
Höhe: 2200 m. Zeit: 24. 1. 1973, 7 Uhr.

Rime (hoar-frost) – covered frost hollow in the Nilgiris, Wenlock Downs, 9 km northwest of Ootacamund. Afforested hill-tops and grass-covered hillocks (right centre) without frost. Vacancies in *Eucalyptus globulus* plantation on lower

(1) Instrumentelle Beobachtungen
(Temperatur $\leq 0^\circ \text{C}$)a) Minimumtemperaturwerte aus der Wetterhütte (STEVENSON screen) in 130–200 cm über dem Boden = Hüttenfrost³⁾b) Minimumtemperaturwerte in 5 cm über dem Boden (Gras-Minimumthermometer), ungeschützt = Grasfrost
c) Thermographenaufzeichnungen aus einer Wetterhütte in 150 cm über dem Boden = Hüttenfrost

³⁾ Verf. folgt der von SCHNEIDER (1963) vorgeschlagenen Nomenklatur zum Frost; danach sollte der Begriff „Bodenfrost“ nur auf die (nachgewiesene) Gefronnis des Bodens selbst beschränkt bleiben (ein in den Nilgiris kaum zu erwartendes Phänomen); siehe hierzu auch GEIGER (1961, 174ff.). An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, daß SCHNEIDER – zu Recht – die terminologische Unterscheidung

von Strahlungs- und Advektivfrost (vgl. VAUPEL 1959 u. a.) ablehnt, da es sich beim Nachtfrost genetisch und räumlich meistens um eine Kombination von Ausstrahlung und (lokaler Mikro-)Advektion handelt (siehe auch VON LENGERKE 1977, 123f.).

slopes due to heavy frost damages in 1971/72. Since this species is known to be fairly frost-resistant (up to -4°C ; see J. WECK: Die Wälder der Erde. Berlin 1957, p. 131), the severity of frost can be appreciated.
Elevation: 2200 m. Time: January 24, 1973, 7 a.m.

Photo 2: Eisbildung am Zweig eines Schattenbaumes (*Grevillea robusta*) durch nächtliche Frostschutz-Beregnung auf der Teeplantage Dunsandle in den Nilgiris. Akkumulation von Eisschichten und -zapfen (bis zu 30 cm Länge) verursachte Abbrechen des Zweiges sowie sekundäre Frostschäden auf darunterliegendem Teebusch.

Höhe: 2060 m. Zeit: Januar 1972, zwischen 7 und 8 Uhr.

Ice formation on shade tree (*Grevillea robusta*) branch due to nocturnal water sprinkling against frost damage on Dunsandle Tea Estate in the Nilgiris. Accumulation of ice sheets and icicles (up to 30 cm length) caused branch to break off and secondary frost damage on tea bush below.

Elevation: 2060 m. Time: January 1972, between 7 and 8 a.m.

Photo 3: Frostschäden an einem Teebusch. Ausmaß der Entlaubung (20 cm tief) vergleichsweise gering infolge einiger leichter Januarfröste in einem Teefeld der Dunsandle-Plantage, Nilgiris.

Höhe: 2060 m. Zeit: 21. 3. 1973, 13 Uhr.

Frost damage of a tea bush. Only partial defoliation (20 cm deep) due to several light frost incidences in January on a tea field of Dunsandle Estate, Nilgiris.

Elevation: 2060 m. Time: March 21, 1973, 1 p.m.

Photo 4: Frostloch auf der Glenmorgan-Plantage in den Nilgiris, angezeigt durch den schlechten Zustand des Teefeldes als Folge wiederholter Frostschäden und Absterben von Teebüschen. Nutzung des anmoorigen Talbodens mit *Eucalyptus globulus*; im Hintergrund grasbedeckte Kuppen oberhalb der Sigur Ghat.

Höhe: 2100 m. Zeit: 24. 4. 1973, 14.30 Uhr.

Frost hollow (or pocket) on Glenmorgan Estate in the Nilgiris, indicated by bad state of tea field due to recurrent frost damages and resultant die-back of tea bushes. Swampy valley bottom planted with *Eucalyptus globulus*; background: grass-covered hills above Sigur Ghat.

Elevation: 2100 m. Time: April 24, 1973, 2.30 p.m.

Photo 5: Frostschutz durch Abdecken eines Teefeldes mit Farnkraut und Matten aus Palmblättern auf der Glendale-Plantage, Nilgiris. Kosten (1972/73) ca. 800 Rupien pro Hektar.

Höhe: 1800 m. Zeit: 28. 11. 1972, 11 Uhr.

Frost protection by covering with bracken and palm leaf mats in a tea field on Glendale Estate, Nilgiris. Costs (in 1972/73) approx. 800 Rupees per hectare.

Elevation: 1800 m. Time: November 28, 1972, 11 a.m.

Photo 6: Aufforstung der Wenlock Downs, ca. 6 km nordwestlich von Ootacamund, oberhalb der Straße nach Gudalur. Auf dem oberen Hangabschnitt: *Eucalyptus globulus*-Pflanzung (8 Jahre alt); am unteren, frostgefährdeten Hang: *Pinus patula*-Pflanzung (3½ Jahre alt).

Höhe: 2210 m. Zeit: 27. 4. 1973, 9.30 Uhr.

Afforestation of the Wenlock Downs, approx. 6 km northwest of Ootacamund, above the road to Gudalur. On the upper slope: *Eucalyptus globulus* plantation (8 years old); on the lower, frost-prone slope: *Pinus patula* plantation (3½ years old).

Elevation: 2210. Time: April 27, 1973, 9.30 a.m.

Photos 1, 3, 4, 5, 6 vom Verfasser/by the author; Photo 2 von/from Mr. N. K. RAWLLEY.

(2) Visuelle Beobachtungen (Frostindikatoren)

- a) Reif- und Eisbildungen auf Grasland (vgl. Photo 1) und Krautvegetation, in Wasserpfützen und -behältern sowie auf Kulturpflanzen (vgl. Photo 2) = Frost in Bodennähe
- b) Vegetations-Frostschäden auf Grasflächen oder Gemüse- und Teefeldern (vgl. Photos 3 und 4) = Schadenfröste
- c) Aktive und passive Schutzmaßnahmen in frostgefährdeten Lagen, besonders auf Teefeldern (vgl. Photo 5) und bei Aufforstungen (vgl. Photo 6).

Daß außer punktuellen bzw. kurzfristigen Daten und Geländebeobachtungen überhaupt längerfristige Aufzeichnungen zum Frost existieren (bis über 40 Jahre), ist in erster Linie seiner pflanzenphysiologisch nachteiligen Wirkung zu verdanken; denn besonderes Interesse an Frostbeobachtungen besteht im Botanischen Garten von Ootacamund (mit frostempfindlichen Zierpflanzen), bei der schon oben erwähnten, auf Kartoffelanbau spezialisierten Versuchs- und Saatgutfarm Nanjanad und – wie auf Ceylon und Java – bei einigen regelmäßig vom Frost heimgesuchten und in ihrer Produktion saisonal stark beeinträchtigten Teeplantagen, die über entsprechende Tagebucheintragungen verfügen. Da aber gerade in den Nilgiris – im Gegensatz zu den nordindischen Teeanbaugebieten – der Anteil der sog. *small growers*, d. h. der Bauern, die Tee (und/oder Kaffee) nur auf kleinen Parzellen und teilweise zum Nebenerwerb anbauen, relativ hoch ist, liegen für gewisse, gerade aufgrund der Frostgefährdung marginale Gebiete keine Frostunterlagen vor. Dennoch erscheint das bis jetzt verfügbare Material ausreichend und interessant genug für eine erste systematische Darstellung.

III. Das räumliche und zeitliche Auftreten von Frost in den Nilgiris

Aufgrund der spezifischen physikalischen Prozesse, die zur Ausbildung und Verbreitung von Frost führen, kann sein Vorkommen nicht mit Hilfe der hypsometrischen Methode und unter Zugrundelegung mittlerer vertikaler Temperaturgradienten in der freien Atmosphäre ermittelt werden; denn das Frostphänomen ist in den tropischen Gebirgen nicht nur von der Meereshöhe, sondern besonders von der Geländebeschaffenheit abhängig. Damit entzieht es sich auch weitgehend einer exakten Kartierung für einen größeren Untersuchungsraum – ganz abgesehen von der zeitlichen Variabilität. Dieser Beitrag beschränkt sich daher auf die Wiedergabe von Frostereignissen an einzelnen Beobachtungspunkten.

a) Die räumliche Begrenzung

Nach Durchsicht aller Unterlagen kann für die Nilgiris festgestellt werden, daß – bestimmte Witterungsbedingungen vorausgesetzt (s. u.) – Frost oberhalb von 1400 m Meereshöhe überall dort auftreten kann, wo der Wärmeenergieverlust durch nächtliche Ausstrahlung nicht durch entsprechende Wärmezufuhr kompensiert werden kann – sei es durch Wärmeleitung von unten (aus dem Boden und Pflanzenbestand) oder durch den Zustrom wärmerer Luft infolge des Abfließens der unterkühlten Luft in Bodennähe⁴⁾ – und der Abkühlungsprozeß mehrere Stunden ungestört anhält, so daß die Oberflächen- und später auch die Lufttemperatur in Bodennähe den Gefrierpunkt erreichen oder unterschreiten können.

Horizontale Flächen und Geländevertiefungen, die eine Stagnation und Akkumulation der bodennahen Kaltluft begünstigen, sind daher besonders frostgefährdete Standorte, wobei die Größe dieser Geländeformen weniger entscheidend ist als die Wirksamkeit, mit der die Kaltluft-Drainage verhindert wird. So berichtete SYKES (1850, 303), daß in 2633 m an drei aufeinanderfolgenden Tagen (15.–17. 11. 1847) bei Sonnenaufgang unmittelbar neben der ehemaligen Wetterstation auf dem nur wenige Dekameter breiten Gipfelplateau des Dodabetta Eisbildungen („patches of ice“) beobachtet wurden, d. h. oberhalb der steilen und daher frostfreien Flanken des zentralen Massivs der Nilgiris. Demnach gibt es keine auf das gesamte Gebirge bezogene „Obergrenze“ der Frostvorkommen, obwohl es lokal – wie zahlreiche Beispiele belegen – eher die Regel als die Ausnahme ist, daß frostfreie Geländepartien oberhalb von frostgefährdeten Lagen auftreten⁵⁾.

Das gilt auch für das Tal des Kukalthoraihalli im Nordostteil der Nilgiris, wo im Dezember 1971 das tiefste (bekannte) Vorkommen von Frost in den Nilgiris in ca. 1420 m (4650 ft) von Totalschäden im unteren Abschnitt eines großen Kartoffelfeldes be-

⁴⁾ Die auch im Englischen übliche Analogie zur hydrologischen Terminologie will anzeigen, daß die meist unter 1 m/sec bleibende Kaltluftbewegung – wie das Wasser – der Gravitation folgend die Tiefenlinien des Geländes benutzt bzw. den Weg des geringsten Widerstandes (dazu GEIGER 1961, 412–422, und BAUMGARTNER 1963, 170–177).

⁵⁾ In diesem Zusammenhang ist es interessant zu erfahren, daß selbst die in über 3000 m Meereshöhe gelegene Wetterstation auf dem Kraterrand des Mount Pangerango (3019 m) in West-Java zwischen 1912 und 1945 nur ein absolutes Temperaturminimum von +0,5°C registrierte (DOMRÖS 1976, 105). Daraus kann allerdings keine „Frostfreiheit des Mount Pangerango“ abgeleitet werden; denn erstens wurden die Messungen in 170 cm Höhe über dem Erdboden vorgenommen (Wetterhütte) und zweitens konnten im Gipfelkrater schon mehrfach Reif- und Eisbildungen beobachtet werden, so von JUNGHUHN (1857, 412) und DOCTERS VAN LEEUWEN (1933, 29–39), vgl. auch BRAAK (1929; I, 150; II, 100f., Photo gegenüber S. 219).

gleitet war. Hier verhinderte die das Tal querende Vegetationsbarriere aus dichtem Wald und einem daran anschließenden, mit hohen Bäumen gut beschatteten Kaffeefeld der Marvahulla-Plantage den Abfluß der in diesen tiefen Lagen angesammelten Kaltluft – in einem Monat, in dem auch andere Gebiete, die bisher als frostfrei galten, von Frost und entsprechenden Schäden heimgesucht wurden.

In den Randlagen und stärker reliefierten Plateaubereichen der Nilgiris tritt Frost nur kleinräumig, in isolierten Frostlöchern auf. Dagegen kann Frost auf dem westlichen Plateau, im Bereich der flachwelligen, weithin grasbedeckten, „offenen“ Landschaft über größere zusammenhängende Areale auftreten. Doch selbst dort gilt das charakteristische Muster der Frostverbreitung auf kleinem Raum: Während die Hügel und oberen Hangpartien frostfrei bleiben, „setzt sich“ der Frost (engl. „frost settles“, gemeint ist der gefrorene Tau bzw. der Reif) in den Frostmulden und verzweigten Talsystemen. Die lokale Frost-„Obergrenze“ wird dann durch eine scharfe Begrenzung des Reifs weithin sichtbar angezeigt (vgl. Photo 1). Dabei hängt die Höhe des Kaltluftsees bzw. der Temperaturinversion über der lokalen Abflußbasis von der Konfiguration des Terrains, der Dauer und Intensität der nächtlichen Abkühlung und damit von der jeweiligen synoptischen Situation ab – sie kann zwischen wenigen Zentimetern und einigen Dekametern variieren.

b) Die zeitliche Begrenzung

Vom Standpunkt der Agrarmeteorologie/-klimatologie aus gesehen ist nicht nur die räumliche, sondern ganz besonders die zeitliche Dimension des Frostphänomens von großem Interesse, d. h. die Frage, wann in den potentiell gefährdeten Gebieten überhaupt mit Frost zu rechnen ist. Erst dann ist die Möglichkeit gegeben, durch rechtzeitige Vorbereitung von Schutzmaßnahmen oder durch Anpassung der Anbauzeiten das Frostrisiko zu reduzieren.

In den Nilgiris handelt es sich beim Frost primär – dem tropischen (thermischen Tageszeiten-)Klima charakter entsprechend – um ein tagesperiodisches Phänomen. Es gibt keine Eistage (mit Temperaturmaximum unter 0°C), sondern nur Frost- bzw. Frostwechseltage, an denen es regelmäßig zu einem Wechsel zwischen Nachtfrost und relativ hohen Wärmegraden am Tage (in der Regel über 15°C ; vgl. Abb. 2) kommt, d. h. zu einer Mindestfrostwechseldichte von 2 (Frostwechsel pro Frostwechseltag; TROLL 1943b, 167).

Über den nächtlichen Temperaturgang und die Zeitspanne, in der Frost nachts auftreten kann, liegen nur wenige Angaben vor. Die im Rahmen einer mikroklimatologischen Studie auf der Dunsandle-Plantage vom Verfasser durchgeführten Thermographen-Messungen (November 1972 bis März 1973, 2057 m, in einer Wetterhütte, 150 cm über dem Boden) bestätigen,

daß in Strahlungsnächten die tiefsten Temperaturen infolge fortgesetzter Abkühlung erst kurz vor Sonnenaufgang erreicht werden: in 23 Nächten mit Frost in Bodennähe im gleich hoch gelegenen, etwa 400 m entfernten Teefeld No. 6 wurde sowohl das mittlere als auch das absolute Temperaturminimum um 6 Uhr morgens registriert (VON LENGERKE 1977, 129; vgl. auch LEGRIS/BLASCO 1969, 52-Fig. 15, für die Palnis). Legt man die mittlere Differenz der Temperaturminima zwischen Thermograph und Minimum-Thermometer (in einer zwischen die Teebüsche gestellten Wetterhütte; Instrument ca. 30 cm über dem Boden) zugrunde, d. h. 2,3 Celsiusgrade, so ergibt sich daraus eine achtstündige Nachtperiode (24–8 Uhr), in der Frost in dem betreffenden Teefeld aufgetreten ist, wobei allerdings berücksichtigt werden muß, daß es durch den lokalen Horizont (12°) am Morgen zunächst gegen Sonneneinstrahlung abgeschirmt ist. Daß Frost auch schon vor Mitternacht auftreten kann, wurde mehrfach von Pflanzern und Bauern erwähnt. Dasselbe ergaben Thermometerablesungen im Garten des Meghdoot Cottage unweit des „Ooty Lake“ (Südufer) in 2235 m Meereshöhe, wo am 5. Januar 1975 bereits um 22.30 Uhr -1°C erreicht war (150 cm über dem Boden)⁶⁾.

Über sein tageszeitlich begrenztes Auftreten hinaus unterliegt das Frostphänomen in den Nilgiris außerdem einem jahresperiodischen Rhythmus; denn nur in Verbindung mit bestimmten synoptisch-klimatischen Bedingungen kann es zur Ausbildung von Nachtfrost kommen. Hierzu zählen vor allem: geringer Wasserdampfgehalt der Luft in der unteren Troposphäre und Wolkenlosigkeit (d. h. ungehinderte langwellige Ausstrahlung der am Tage gespeicherten Wärmeenergie), trockener Boden und ausgedörrte Vegetation (d. h. geringe Wärmespeicherkapazität und -leitfähigkeit) und geringe Windgeschwindigkeit bzw. Windstille (d. h. fehlende Turbulenz in der bodennahen Luftschicht und damit minimaler vertikaler Energieaustausch)⁷⁾. Wie die für Ree's Corner⁸⁾ im zentralen Teil des Nilgiris-Plateaus in

⁶⁾ Frdl. briefliche Mitteilung von Herrn Dr. D. B. KAPP (Ootacamund, den 15. 6. 1975), Mitarbeiter des Seminars für Indologie am Südasien-Institut in Heidelberg und damals zu Feldforschungen in den Nilgiris. Vgl. Tab. 3.

⁷⁾ Vgl. auch SCHNEIDERS Begriff „Frost ohne Wind“ (1963, 4).

⁸⁾ Ree's Corner ist die vom *Indian Council for Agricultural Research*, New Delhi, seit März 1956 unterhaltene und vom indischen Wetterdienst regelmäßig inspizierte agrarmeteorologische Station auf dem Gelände der Research Farm des Soil Conservation Research, Demonstration and Training Centre, Ootacamund. Verf. dankt Herrn Dr. P. K. THOMAS für die Bereitstellung der bisher weitgehend unbearbeiteten meteorologischen Rohdaten. Ree's Corner verfügte als einzige Station in den Nilgiris über einen CAMPBELL-STOKES Sonnenscheinmesser sowie – von September 1957 bis November 1959 – über ein Grasminimum-Thermometer (siehe Tab. 4).

Abb. 2 zusammengestellten Diagramme ausgewählter Klimaparameter mehr oder weniger direkt zeigen, sind die genannten Voraussetzungen in idealer Weise während der Nordostmonsun-Periode kombiniert, d. h. von Dezember (zusammenfallend mit dem Wintersolstitium) bis März, wenn die für den Nordostmonsun charakteristischen, mit der großräumigen Zirkulationsdynamik zusammenhängenden Witterungsverhältnisse vorherrschen (siehe z. B. FLOHN 1970).

Während dieser Periode sind Nachtfroste – wie noch gezeigt wird – entsprechend häufig, sie bleiben jedoch nicht darauf beschränkt. Bei den Stationen bzw. Teeplantagen mit längeren Frostbeobachtungsreihen (alle über 1900 m gelegen) ist die mittlere Anzahl der Nachtfroste im Monat November sogar höher als im März; und für Korakundah konnte der 4. November als mittleres Datum für den ersten Hüttenfrost berechnet werden (mittlere Abweichung: $\pm 10,5$ Tage), während das mittlere Spätfrostdatum auf den 19. März fiel ($\pm 9,5$ Tage).

Noch überraschender ist die – gegenüber anderen Gebirgsregionen vergleichbarer Höhen- und Breitenlage im australasiatischen Raum – bemerkenswerte Zeitspanne zwischen den extremen Frostereignissen. Am Morgen des 18. Oktober 1972 wurde auf einem Teefeld der Liddlesdale-Plantage Reif beobachtet (Höhe: ca. 2000 m; Abb. 1); und im Jahr zuvor registrierte man am 19. Oktober mit $-1,1^{\circ}\text{C}$ (30°F) den ersten Frost auf Korakundah, während 0°C noch am 3. April 1963 gemessen wurde – d. h. auf Korakundah muß während eines Zeitraums von 167 Tagen mit Frost gerechnet werden. Für die Nilgiris insgesamt ergibt sich aber eine noch längere, 177tägige, d. h. fast 6 Monate dauernde potentielle Frostperiode, denn in Nanjanad wurde am 13. April 1965 Reif am Boden beobachtet; und es kann angenommen werden, daß lokal sogar noch frühere oder spätere Fröste aufgetreten sind, die von den zur Verfügung stehenden Beobachtungen nicht erfaßt werden.

Diese Annahme wird vor allem gestützt durch die Minimumtemperaturen in der Wetterhütte von Billithadahalla⁹⁾ im Mai 1965. Dieser Monat war gekennzeichnet von anhaltender Trockenheit und ausgeprägtem Strahlungswetter. In sieben aufeinanderfolgenden Nächten sank die Temperatur auf 4°C , am

⁹⁾ Billithadahalla (Höhe: 2210 m) war – wie Avalanche (s. u.) – eine der temporären meteorologischen Stationen des *Hydro-Metric Survey* (Investigation Division), Madras, die – ausgerüstet mit Temperatur-, Wind-, Regen-, Luftfeuchtigkeits- und Verdunstungsmeßgeräten – in der Planungsphase der großen Energieprojekte (Kundah und Pykara/Moyar Hydro-Electric Power Schemes) im niederschlagsreichen Westteil des Plateaus der Nilgiris unterhalten wurden. Nach 10jährigem Betrieb (April 1956 bis August 1965) wurde Billithadahalla – wie Avalanche (Januar 1953 bis Dezember 1959) – kurz vor dem Bau der Staudämme und Kraftwerke aufgegeben. Alle in Abb. 1 gezeigten Seen sind künstlich aufgestaut.

28. Mai sogar auf $1,1^{\circ}\text{C}$. Da die Messungen in 150 cm Höhe über dem Boden und auf einem Hügel durchgeführt wurden, ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß in

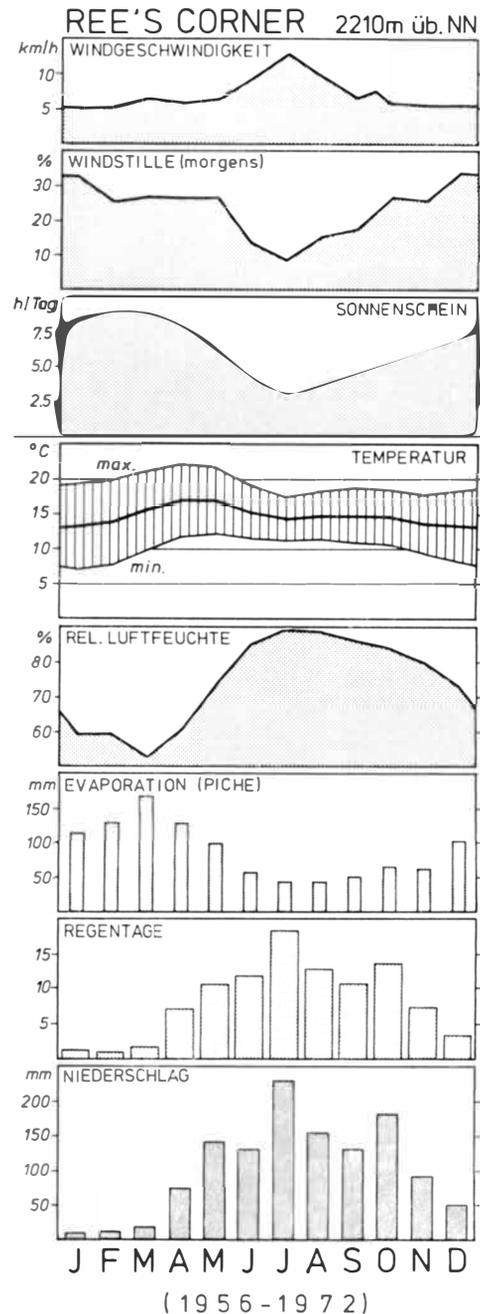


Abb. 2: Mittlerer Jahresgang von acht ausgewählten Klimaparametern im zentralen Teil der Nilgiris, einschließlich Tagesamplituden der Lufttemperatur. Beobachtungstermine: 7.30 und 14.30 Uhr

Average annual course of eight selected climatic parameters in the central part of the Nilgiris, including diurnal ranges of air temperature. Hours of observations: 7.30 a.m. and 2.30 p.m.

der näheren Umgebung – am Boden und in den benachbarten Senken – Grasfröste auftraten (vgl. hierzu die vertikalen Temperaturgradienten für Ree's Corner in Tab. 3 und Fußnote 11).

c) Frosthäufigkeit und -variabilität

Eine genauere Vorstellung von der zeitlichen und räumlichen Differenzierung des Frostphänomens in den Nilgiris während der somit abgesteckten potentiellen Frostperiode sollen die Tab. 1 und 2 und Abb. 3–5 vermitteln. Dabei wurden lediglich die Stationen bzw. Beobachtungspunkte berücksichtigt, für die längere Beobachtungsreihen vorliegen (zwischen 6 und 42 Jahren), entweder in Form von Tagesminima der Lufttemperatur in Frostlagen (Avalanche, Korakundah) oder auf der Grundlage im Gelände beobachteter Reifbildungen bei Sonnenaufgang. Alle in Frage kommenden Stationen (davon sind fünf Teeplantagen: Dunsandle, Glenmorgan, Korakundah, Lovedale und Terrace) liegen über 1900 m und, nicht zufällig,

in dem Plateaubereich, wo jährlich mit Frost zu rechnen ist.

Vergleicht man die in Tab. 1 für acht Stationen zusammengestellten Mittel- und Extremwerte der monatlich und jährlich bzw. „frostperiodisch“ registrierten Nachfröste, so zeigt sich zunächst, daß – auch bei gebotener Beschränkung auf Stationspaare mit vergleichbarer Datenbasis (vgl. dazu Tab. 3 und Fußnote 11) – innerhalb der repräsentierten, 400 Meter umfassenden Höhenstufe keine eindeutige Beziehung zwischen Meereshöhe und Frosthäufigkeit existiert, sondern offensichtlich die Lage auf dem Plateau und die örtliche Situation viel entscheidender sind. Als zweites Merkmal, das auch in Abb. 3 und Abb. 5 gut zum Ausdruck kommt, muß hervorgehoben werden, daß die fast halbjährige Frostperiode ihren Höhepunkt im Januar erreicht.

Der Ausdruck potentielle Frostperiode erscheint angebracht, weil das Auftreten von Frost sowohl im Oktober als auch im April äußerst

Tabelle 1: Frosthäufigkeit an acht Beobachtungspunkten in den Nilgiris. Maximum-, Minimum- und Mittelwerte
Frequency of frost at eight observation sites in the Nilgiris. Maximum, minimum and average values

Plantage/ Station	Höhe über NN	Zeitraum	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Frostperiode	erstes, letztes Datum
Avalanche ¹⁾	1935 m	1953–59		5 0.9 1	11 3.7 0	10 4.1 0	6 1.9 0	1 0.1 0		18 (1955/56) 10.7 5 (1958/59)	9. 11. 1955 13. 3. 1955
Glenmorgan	2057 m	1962–71		4 1.7 0	12 4.1 0	23 8.8 1	9 4.3 0	3 0.6 0		34 (1966/67) 19.5 5 (1965/66)	7. 11. 1963 30. 3. 1966
Dunsandle	2057 m	1939–73	2 0.1 0	9 1.7 0	18 6.1 0	25 9.7 0	21 4.4 0	3 0.4 0		46 (1964/65) 22.4 5 (1946/47)	?
Nanjanad	2134 m	1930–72 ²⁾		15 3.8 0	23 9.8 0	27 12.7 4	26 8.5 1	13 3.2 0	2 0.1 0	63 (1971/72) ²⁾ 38.1 14 (1965/66)	1. 11. 1969 13. 4. 1966
Terrace	2164 m	1966–72		3 1.5 0	6 3.2 0	17 5.5 0	2 0.5 0			22 (1966/67) 10.7 2 (1969/70)	?
Ootacamund Botanical Gardens	2225 m	1938–71	3 0.2 0	11 1.6 0	25 10.3 0	24 11.4 0	14 5.3 0	6 0.4 0		52 (1964/65) 29.2 7 (1965/66)	21. 10. 1945 26. 3. 1957
Korakundah ¹⁾	2240 m	1962–72 ³⁾	3 0.8 0	13 5.8 0	21 9.5 2	24 14.6 3	18 11.3 5	9 3.6 0	1 0.1 0	67 (1971/72) 45.7 13 (1965/66)	19. 10. 1971 3. 4. 1963
Lovedale	2316 m	1958–66	1 0.1 0	10 4.8 0	19 10.3 6	30 15.1 10	17 11.9 4	5 1.8 0		58 (1963/64) 44.0 31 (1960/61)	?

¹⁾ Auf der Grundlage von Temperaturminima (Hüttenfröste); alle anderen: Reifbeobachtungen am Morgen.

²⁾ Unter Einbeziehung der Mittelwerte für die Periode 1930–54 nach BALASUBRAMANIAM/BAKTHAVATHSALU (1956); das Jahresmaximum lag nach BALASUBRAMANIAM/DORAIRAJ (1959, Tabelle II) bei 86 Frosttagen; allerdings fehlt die Angabe des Jahres.

³⁾ November 1963 bis Januar 1964: Keine Daten.

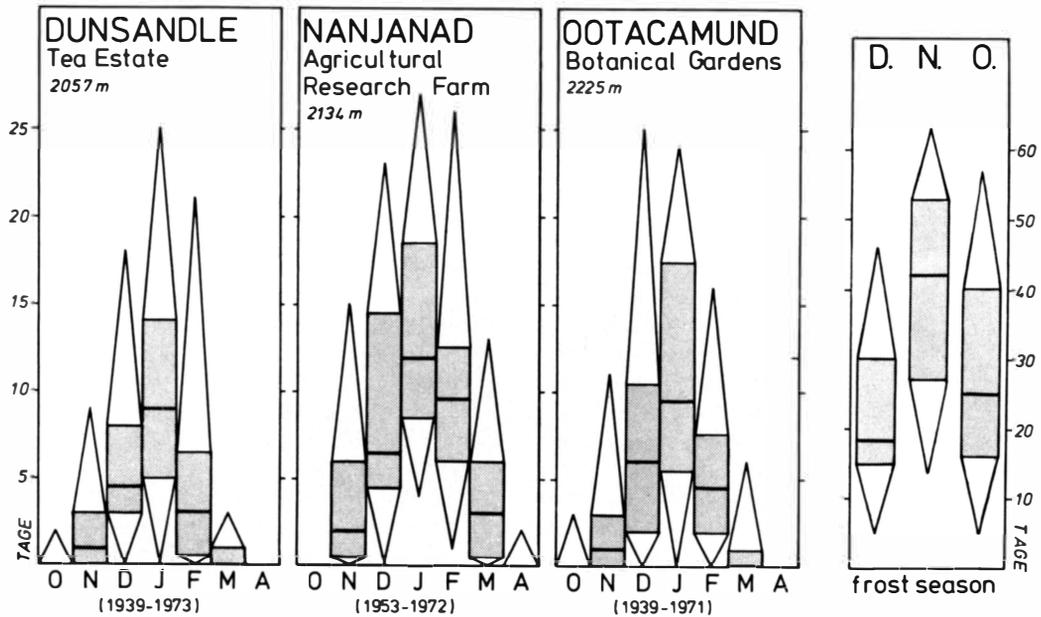


Abb. 3: Quantilen der monatlichen und jährlichen (bzw. frostperiodischen) Frosthäufigkeit an drei Stationen mit langjährigen Reifbeobachtungen: Maxima, obere Quartile, Mediane, untere Quartile und Minima

Quantiles of monthly and annual (frost period) frequency of frost at three stations with long-term hoar-frost observations: Maxima, upper quartiles, medians, lower quartiles, and minima

selten ist. So liegen selbst in Nanjanad für einen Zeitraum von 42 Jahren keine Frostbeobachtungen im Oktober vor (frühester Termin war der 1. November 1969; vgl. Tab. 1), während April auf Dunsandle und im Botanischen Garten von Ootacamund über 30 Jahre lang frostfrei blieb. Es ist deshalb bemerkenswert, daß auf Korakundah bei nur 10jähriger Meßreihe in vier Jahren bereits im Oktober Frost auftrat (Maximum: 3 Nächte, 1967) und einmal im April, was unterstreicht, daß Korakundah sowohl in bezug auf die Frosthäufigkeit als auch hinsichtlich der Früh- und Spätfrostperiode eine der „schwierigsten“ Teeplantagen in den Nilgiris ist (vgl. Bericht von BHARATHAN 1970). Dazu tragen allerdings die dort in „klassischer“ Weise quer zu den Tälern angeordneten, dichten Windschutz-Waldstreifen bei, die während des Südwest-Monsuns (Juni–September) die Windkanalwirkung vermindern (zum Schutze der Teebüsche), aber in der Frostperiode ebenso wirksam das Abfließen der bodennahen Kaltluft in Strahlungsnächten unterbinden und so die Frostgefährdung der Plantage entscheidend erhöhen (vgl. VON LENGERKE 1977, Photo 25).

Für den größten Teil des Nilgiris-Plateaus wird die Frostgefahr erst im November akut. Die mittlere Frosthäufigkeit bleibt dann allerdings immer noch – trotz einiger extremer Werte (bis zu 15 Frosttagen in Nanjanad) – gering im Vergleich zu den drei folgenden Monaten, wenn frostbegünstigendes Strahlungswetter, verbunden mit anhaltender Trockenheit gerade in den westlichen und nördlichen Gebieten der Nilgiris (VON LENGERKE 1977), nicht mehr (wie im November)

die Ausnahme, sondern die Regel ist; denn normalerweise setzen sich Anfang Dezember die für den Nordost-Monsun charakteristischen Zirkulations- und Witterungsverhältnisse durch – mit großräumiger Absinkbewegung in der oberen und mittleren Troposphäre bei gleichzeitiger Ausbildung der Passatinversion in 1,5–2 km. In diesem Monat kann die mittlere Frosthäufigkeit bereits 10 betragen, und an drei Stationen wurden schon über 20 Frosttage registriert (Maximum: 25 in Ootacamund, 1951).

Eine weitere Zunahme der Frostvorkommen ist im Januar zu verzeichnen, wenn – im statistischen Mittel – an fast der Hälfte aller Tage Frost auftritt. Auch der „Rekord“ von 30 aufeinanderfolgenden Frosttagen (Lovedale 1964) fiel in diesen Monat, gefolgt von Maxima über 20 bei fünf weiteren Stationen; und die Wahrscheinlichkeit, mit der Frost zu erwarten ist, erreicht in Ootacamund an fast allen Tagen und in Nanjanad täglich mehr als 25%, in Nanjanad an neun Tagen sogar 50% oder mehr (Abb. 5).

In der Zeit von Januar bis April nimmt die Frosthäufigkeit rasch ab, wobei im Februar (auch bei Berücksichtigung der Kürze des Monats und entsprechender Korrektur) wie im März die Werte deutlich unter denen der Monate Dezember resp. November liegen, so daß – auf die gesamte Frostperiode bezogen – keine symmetrische Frostverteilung vorliegt. Das zeigen auch die Diagramme in Abb. 3 (Ausnahmen: Mediane für Nanjanad), die ferner verdeutlichen, daß die Mittelwerte in Tab. 1 teilweise größer sind als der tatsächlichen, durch die Quantilen (Mediane, obere

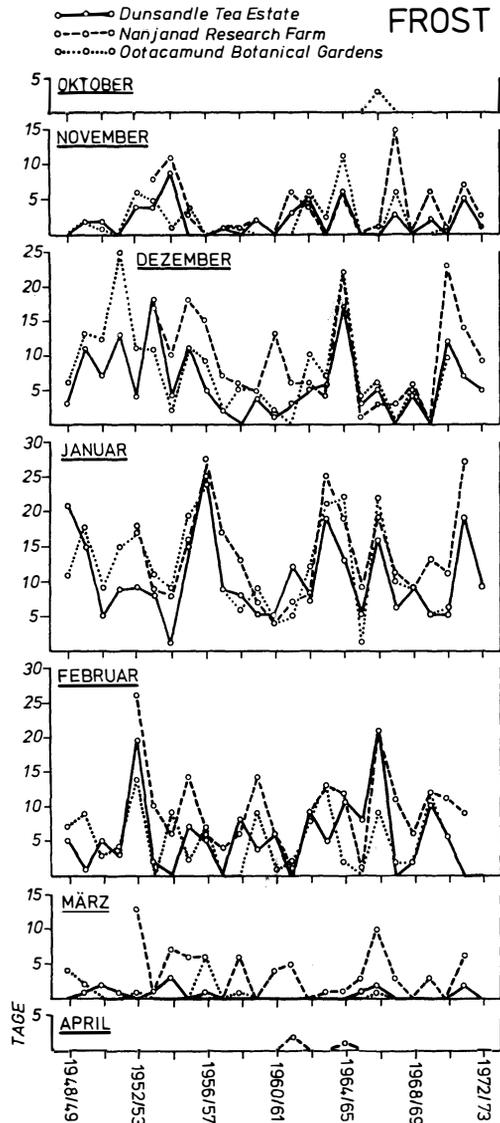


Abb. 4: Monatliche Anzahl von Frösten an drei Stationen während eines 25jährigen Beobachtungszeitraumes
Actual monthly frost incidences at three stations during a 25-year observation period

und untere Quartile) besser wiedergegebenen Häufigkeitsverteilung entspricht.

Daß die Frostvorkommen in den Nilgiris weder räumlich noch zeitlich isolierte Ausnahmereignisse sind, sondern ein ausgeprägtes Klimacharakteristikum darstellen, wird spätestens bei der Analyse der beachtlichen Jahres- bzw. Frostperiodensummen deutlich. Bei keiner der hier berücksichtigten Stationen gab es während der erfaßten Beobachtungszeiträume frostfreie Jahre, selbst nicht auf Terrace (Minimum: 2 Nächte in 1969/70 laut Tagebucheintragen), das zusammen mit Avalanche eine relativ ge-

ringe Anzahl von 10,7 Frosttagen aufweist. Wenn demgegenüber auf Korakundah das Mittel über viermal so hoch liegt (45,7), so kann das nicht mit der zufällig zur Verfügung stehenden Beobachtungsreihe (1962–1972) erklärt werden, auch wenn die extreme Frostperiode 1971/72 eingeschlossen wird (67 Nachfröste; Nanjanad: 63); denn einerseits beträgt selbst der Medianwert für Korakundah noch 44 Frosttage, und andererseits hatte z. B. Lovedale während eines ebenfalls kurzen, aber früheren Zeitraums (1958–1966) eine ganz entsprechende Frosthäufigkeit. Auch die auf langjähriger Basis beruhenden Werte für Nanjanad (Mittel: 38,1; Median 42!) bestätigen diese Größenordnung.

Zur weiteren Verdeutlichung der zeitlichen Schwankung der Frostereignisse in den Nilgiris wurden für Nanjanad, Dunsandle und Ootacamund die aktuellen monatlichen Frostbeobachtungen für einen 25jährigen Zeitraum in Abb. 4 dargestellt. Neben der großen interannuellen Variabilität der Anzahl der Frosttage (die Variationskoeffizienten – Standardabweichung/Mittelwert $\times 100\%$ – der periodischen Frostvorkommen betragen: Ootacamund 51%, Dunsandle 49% und Nanjanad 37%) kommt darin besonders das hohe Maß an Übereinstimmung der von Jahr zu Jahr an 25 bis 29 km voneinander entfernten Orten registrierten monatlichen Frostanzahl zum Ausdruck. Die Korrelationskoeffizienten in Tab. 2 (auf der Grundlage aller Daten) zeigen, daß diese räumliche Beziehung auch statistisch hinreichend gesichert ist, was bestätigt, daß in den Nilgiris das Vorkommen von Frost weitgehend von großräumigen, synoptischen Bedingungen „kontrolliert“ wird¹⁰⁾. Die naheliegende Prüfung, ob eine Möglichkeit besteht, aufgrund der zu Beginn einer Frostperiode (im November oder Dezember) beobachteten Anzahl die Frosthäufigkeit in den Folgemonaten vorherzusagen, erbrachte keine signifikanten Ergebnisse.

IV. Frostintensität

Für bestimmte Zweige der Landwirtschaft auf dem Plateau der Nilgiris – so beim Anbau mehrjähriger Pflanzen bzw. bei Dauerkulturen (z. B. Tee) – und für

¹⁰⁾ Diese „Kontrolle“ kann sogar über Südindien hinaus in das Hochland von Ceylon (Sri Lanka) verfolgt werden. So war die Frostperiode 1971/72 auch dort mit außergewöhnlichen Frostereignissen verbunden. Bei seinem Besuch im November 1972 erfuhr der Verfasser, daß selbst auf den Teeplantagen in der Nachbarschaft des Tea Research Institute (TRI), St. Coombs-Talawakele, in Höhen von 1400 m mehrere Nachfröste zu bisher unbekanntem Schäden in den Teefeldern führten; und oberhalb von 1900 m, auf den Plantagen der Pedro Group bei Nuwara Eliya, wurden Teebüsche gesehen, die sich nach 9–10 Monaten noch nicht wieder erholt hatten, während andere ganz abgestorben waren; vgl. hierzu auch MARBY (1972) und DOMRÖS (1974).

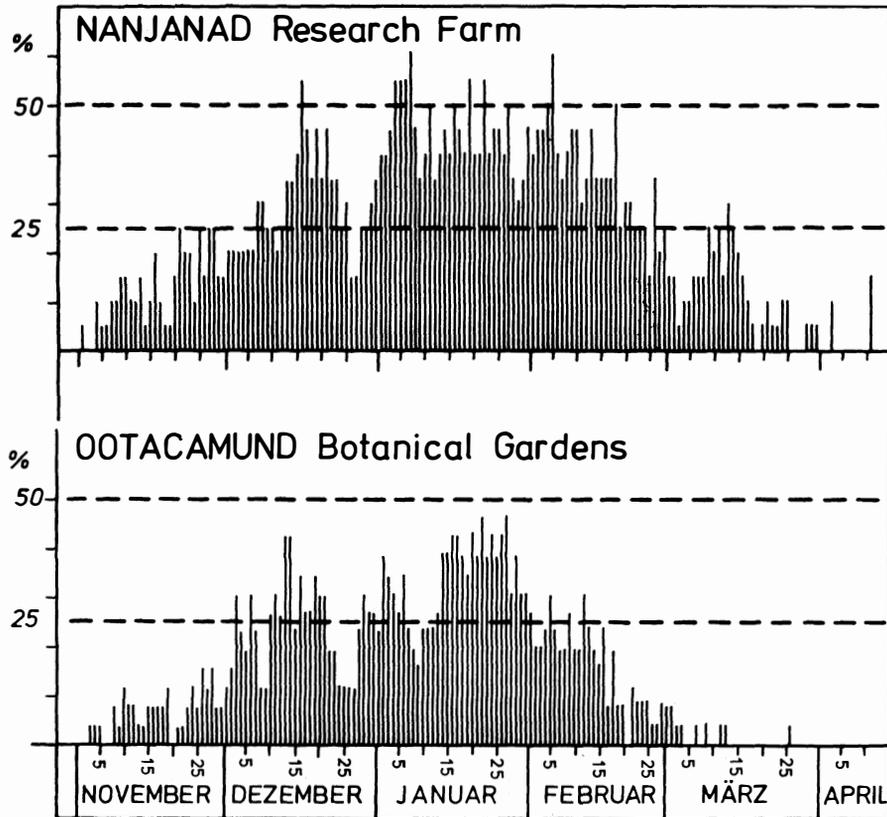


Abb. 5: Tägliche Wahrscheinlichkeit von Frostvorkommen in Nanjanad (Landwirtschaftliche Versuchsfarm) und Ootacamund (Botanischer Garten)

Daily probability of frost occurrence at Nanjanad and Ootacamund

Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten der monatlichen Frosthäufigkeit an drei Beobachtungspunkten in den Nilgiris. Weitere Einzelheiten zu den Stationen in Tabelle 1

Correlation coefficients of monthly frequency of frost at three observation sites. For further details see Table 1

Stationspaare	Anzahl der Fälle	November	Dezember	Januar	Februar	Frostperiode
Dunsandle/Ootacamund	32	.597**	.657**	.843**	.553*	.750**
Dunsandle/Nanjanad	20	.744**	.516*	.834**	.705**	.751**
Ootacamund/Nanjanad	18	.481	.455	.815**	.583*	.778**

* Signifikanz-Niveau von 1.0% ** Signifikanz-Niveau von 0.1%

die gerade im Westteil großflächig betriebene forstwirtschaftliche Nutzung (vgl. Photo 1) kann die Schwere einzelner Frostereignisse viel entscheidender, d. h. nachteiliger (s. u.) sein als die Daten der Früh- und Spätfröste oder die Frosthäufigkeit und -verteilung innerhalb der potentiellen Frostperiode. Wie bei den letztgenannten Aspekten, so kann die wichtige Frage der Frostintensität hier nur anhand weniger, teilweise qualitativer Angaben behandelt werden.

Nach allen vorhandenen Unterlagen betrug die tiefste Temperatur in den Nilgiris $-8,9^{\circ}\text{C}$ (16°F ; BIRCH 1838, 93); leider fehlen genaue Informationen

über Ort, Zeitpunkt und Methode dieser Temperaturmessung. Das absolute Minimum aller exakt belegten Tiefstwerte von 11 Stationen (Tab. 3) war $-6,7^{\circ}\text{C}$ in der Wetterhütte auf Korakundah, und die beiden folgenden Minima im Botanischen Garten und am Meghdoot Cottage in Ootacamund ($-6,0^{\circ}\text{C}$ resp. $-4,0^{\circ}\text{C}$) zeigen, daß in den Nilgiris lokal durchaus mit starken Frösten gerechnet werden muß (mit SCHNEIDER 1963, 4, unterscheiden wir leichte, bis -2°C , mäßige und starke Nachtfroste, unter -4°C).

Bei der Beurteilung der in Tab. 3 zusammengestellten Werte muß berücksichtigt werden, daß die Messungen durchweg in einiger Höhe über dem Erdboden

Tabelle 3: Absolute Tiefstwerte der Lufttemperatur an 11 Beobachtungspunkten in den Nilgiris.
Auf der Grundlage von Thermometermessungen in 130–200 cm über dem Boden. Vgl. auch Abb. 1
Absolute minima of air temperature at 11 observation sites in the Nilgiris.
Based on thermometric registrations 130–200 cm above the ground. Cf. Fig. 1

Beobachtungspunkt	Meeres- höhe	Zeitraum	Höhe über dem Boden	strahlungs- geschützt	abs. Minimum	in der Nacht zum
Korakundah Ootacamund	2240 m	1. 5. 1962–31. 12. 1972	150 cm	ja	–6.7° C	15. Januar 1972
Botanical Gardens	2225 m	1. 1. 1948–31. 1. 1972	130 cm	ja ¹⁾	–6.0° C	13. Januar 1972
Meghdoot Cottage	2235 m	21. 12. 1974–17. 1. 1975	150 cm	nein ²⁾	–4.0° C	1. Januar 1975 (24 Uhr)
Peppermint Plot (Liddlesdale)	2012 m	1. 10. 1970–31. 12. 1971	180 cm	ja	–3.3° C	12. Dezember 1971
Avalanche	1935 m	1. 1. 1953–31. 12. 1959	170 cm	ja	–3.3° C	8. Dezember 1953 20. Dezember 1956
Glenmorgan Ootacamund Observatory ³⁾	2057 m	1. 1. 1962–14. 12. 1971	160 cm	ja	–2.2° C	4./13. Januar 1970
Billithadahalla	2249 m	9. 6. 1901–31. 12. 1972	200 cm	ja	–1.7° C	30. Januar 1921
Nanjanad	2210 m	1. 1. 1956–26. 8. 1965	170 cm	ja	–1.7° C	19. Januar 1956
Dunsandle	2134 m	1. 1. 1953–31. 12. 1972	130 cm	ja ¹⁾	–1.1° C	21./22. Januar 1967
Ree's Corner	2057 m	8. 9. 1964–31. 3. 1973	180 cm	ja	–1.1° C	22.–24. Januar 1965
	2210 m	7. 5. 1956– 6. 5. 1973	170 cm	ja	±0.0° C	19. Januar 1958

¹⁾ Nur nach oben durch ein konisches Strohdach (Durchmesser: 120 cm) auf dem Holzpfahl, an dem das Thermometer hängt.

²⁾ An der Außenseite einer Veranda; die Ablesungen wurden nur einmal pro Nacht – zwischen 22.30 Uhr und Mitternacht – vorgenommen (vgl. Fußnote 6).

³⁾ Bis 1960: Climatological Tables of Observatories in India 1931–1960 (ed. *India Meteorological Department*).

Tabelle 4: Ree's Corner: Mittlere und absolute Minima der Lufttemperatur in der Wetterhütte und am Boden (Grasminimumthermometer) in 40 Frostnächten (September 1957 bis November 1959)

Ree's Corner: Average and extreme minima of air temperature in the STEVENSON screen and close to the ground (grass minimum thermometer) in 40 nights with frost (September 1957 bis November 1959)

in ° Celsius	Dezember 1957	Januar 1958	Dezember 1958	Januar 1959	Februar 1959	März 1959
Anzahl der Hüttenfröste	0	0	0	1	0	0
Anzahl der Grasfröste	1	7	7	16	6	3
mittleres Minimum in der Hütte	4.9	4.3	6.5	6.9	8.5	8.3
absolutes Minimum in der Hütte	4.9	0.0	6.1	4.3	5.3	7.2
mittleres Minimum am Boden	–0.9	–0.9	–1.1	–2.1	–1.5	–0.6
absolutes Minimum am Boden	–0.9	–1.3	–3.4	–3.9	–2.9	–1.2
Differenz der mittleren Minima	5.8	5.2	7.6	9.0	10.0	8.9
Differenz der absoluten Minima	5.8	1.3	9.5	8.2	8.2	8.4
mittlere Differenz in allen Nächten mit Grasfrost: 8.2						
maximale Differenz (zwischen –2.1 und 10.1):	12.2 (11./12. 2. 1959)					

und nicht immer dort vorgenommen wurden, wo aufgrund des Geländes die Frostintensität am höchsten ist bzw. keine „störenden“ Einflüsse vorliegen. So betrug z. B. auf Dunsandle (in 23 Frostnächten, 1. 11. 1972 bis 31. 3. 1973) das mittlere Temperaturminimum in der Wetterhütte neben der Teefabrik (Höhe: 2057 m, Entfernung zum Gebäude: 10 m) 4,4° C gegenüber 0,3° C in der 400 m entfernt und gleich hoch, aber nahe der lokalen Kaltluft-Abflußbasis installierten Wetterhütte im Teefeld No. 6; und die absoluten Minima beider Meßreihen differierten um 3,3 Celsius-

grade, zwischen +2,2° C und –1,1° C (weitere Details bei VON LENGERKE 1977, 118–129)¹¹⁾.

¹¹⁾ Entsprechend unterschiedlich ist die Frosthäufigkeit bei verschiedenen Beobachtungsmethoden. Während auf Dunsandle die Anzahl der Hüttenfröste zwischen 1964/65 und 1972/73 pro Frostperiode 3,0 betrug, wurden im selben Zeitraum (im Mittel) 24,5 Nächte mit Reifbildung registriert; in Ootacamund (Botanischer Garten; 1948–1970) lag das Verhältnis bei 11,3:27,4 und in Nanjanad (1953–1972) bei 0,1:45,9. Vgl. hierzu auch Tab. 4 für Ree's Corner (1:40).

Daß örtlich noch tiefere Temperaturen als die in Tab. 3 wiedergegebenen Meßwerte erwartet werden müssen, zeigen auch die Differenzen zwischen Hütten- und Grasminimumtemperaturen für Ree's Corner in Tab. 4. In 40 (Gras-)Frostnächten betrug der vertikale Temperaturgradient (zwischen 5 und 170 cm über dem Boden) im Mittel 8,2 Celsiusgrade; der höchste Wert war 12,2° (−2,1° C gegenüber +10,1° C). Darüber hinaus gibt es eine Reihe von Indikatoren, die unterstreichen, daß die Frostintensität in den Nilgiris, trotz der kurzen Abkühlungszeit von nur wenigen Stunden, erheblich sein kann. Von der dritten Expedition der Briten auf das Nilgiris-Plateau wurde im Januar 1819 berichtet, daß am Morgen des 7. unweit des Dorfes Anikorai (ca. 5 km nordöstlich von Ootacamund, Höhe 2000 m) das Wasser in einigen Tonkrügen, die man nachts vor dem Zelt (unter freiem Himmel) aufgestellt hatte, etwa 2 cm zugefroren war (längerer Auszug aus dem Bericht bei VON LENGERKE 1977, 101f.); und BIRCH (1838, 93) erinnerte sich an eine Nacht

„... near Makoruty [Mukurti; vgl. Abb. 1] peak in the Koondah, in which the water in a tumbler on a table, inside the tent, was converted into a mass of ice, and the mercury in the thermometer which was hanging on the tent pole fell to 20 of Fahrenheit [−6,7° C]“.

Das waren keine übertriebenen Darstellungen von Europäern, die – nach ihrem Aufstieg aus der Ebene von Coimbatore, wo im Januar nächtliche Tiefstwerte um 20° C vorherrschen (VON LENGERKE 1977, 97) – von Frösten „überrascht“ wurden; denn sie passen durchaus zu den Erfahrungen auf Dunsandle im Januar 1972. Dort versuchte man, durch nächtliche Beregnung mit der für Bewässerungszwecke (im März und Anfang April) und zur Verkürzung der Trockenperiode (mittlerer Niederschlag Dezember–März, 1941–1970: 90 mm) angeschafften technischen Ausrüstung weitere Frostschäden zu verhindern, nachdem es im Dezember 1971 in einigen Teefeldern bereits zu solchen gekommen war. Die Beregnungsanlagen blieben von Mitternacht bis nach Sonnenaufgang eingeschaltet, was zur Folge hatte, daß bei den starken Nachtfrostnächten dieses Monats nicht nur die auf 100 cm Höhe gehaltenen Teebüsche in einigen Frostlöchern von einem mehrere Millimeter dicken Eisfilm überzogen waren, sondern daß sich sogar an den unteren Zweigen der sog. Schattenbäume (in 2–3 Metern über dem Boden) dicke Eiskrusten und bis zu 30 cm lange Eiszapfen bildeten (vgl. Photo 2). Durch die freiwerdende Sublimationswärme blieben in diesen Nächten Blattfrostschäden aus – und nur vereinzelt kam es zu sekundären mechanischen Schäden durch Schattenbaum-Zweige, die unter der Eislast abbrachen und auf die unter ihrem „Schutz“ stehenden Teebüsche fielen.

V. Frostschäden und Frostschutzmaßnahmen

Solange die Temperatur von exponierten Teilen frostgefährdeter Kulturpflanzen bei ±0° C gehalten werden kann (z. B. durch Beregnung) bzw. nur leichte Fröste mit Temperaturen um den Gefrierpunkt (von Wasser) auftreten, ist in der Regel – unabhängig von der Frosthäufigkeit – noch keine Frostschadensgefahr gegeben; denn der Gefrierpunkt der Zellflüssigkeit und die Unterkühlungstemperatur liegen bei den meisten Nutzpflanzen einige Grade unter 0° C (vgl. SCHNELLE 1963a). Treten aber – wie 1971/72 – zahlreiche und gleichzeitig starke Nachtfroste auf, so resultieren daraus naturgemäß auch außergewöhnliche Frostschäden in der Land- und Forstwirtschaft, die vor allem dort als katastrophal empfunden werden, wo Frostvorkommen bzw. damit verbundene Schäden so gut wie unbekannt sind.

Das gilt auch für einige der in Tab. 5 aufgeführten Teepflanzungen¹²⁾, deren Produktion Anfang 1972 erheblich und nachhaltig beeinträchtigt wurde. Auf der Hälfte aller befragten Plantagen lag der Anteil der Frostschadensfläche an der gesamten Teeanbaufläche bei oder über 25% – mit einem Maximum von 66% (zwei Dritteln!) auf Welbeck, gefolgt von Korakundah (60%) und Dunsandle (52%). Die partiell (vgl. Photo 3) oder völlig entlaubten – blattproduzierenden – Teepflanzen konnten erst nach mehreren Monaten wieder gepflückt werden, während zahlreiche Teebüsche infolge Frostspaltenbildung (*bark splitting*) und Lösen der Rinde vom Stamm abstarben (vgl. auch Photo 4 und Fußnote 10).

Es ist daher verständlich, wenn unter dem Eindruck dieser Ereignisse die Frage der Frostschadensbekämpfung ein dominierendes Thema während der Feldforschungen des Verfassers (1972/73) war und Methoden, die auf einigen jährlich vom Frost heimgesuchten Teepflanzen seit längerem praktiziert bzw. erprobt werden, auch dort zur Anwendung kamen, wo normalerweise keine Frostprobleme auftauchen bzw. die kostenintensiven Schutzmaßnahmen als unwirtschaftlich erachtet wurden: z. B. Beregnung auf Kodanaad und Craigmore (Plantagen 6 und 17 in Abb. 1), Räuchern auf Prospect (3; auf Empfehlung eines Meteorologen des indischen Wetterdienstes, eine wenig Erfolg versprechende Methode, vgl. auch WMO 1969) oder Abdecken von Teepflanzen in den Frostlöchern auf Plantagen unterhalb 2000 m Meereshöhe, wie auf Glendale (14; vgl. Photo 5). Letztere ist die am weitesten verbreitete, preiswerteste und – bei leichten bis mäßigen Frösten und bestimmten *Camellia sinensis*-Hybriden (*jats*; vgl. MARBY 1972) – auch hinreichend wirksame

¹²⁾ Bei 2440 m (am Nordosthang des Dodabetta, oberhalb der Straße von Ootacamund nach Kotagiri) erreicht der Teeanbau seine „Obergrenze“ im südindisch-ceylonesischen Raum (Ceylon: 2250 m; MARBY 1972, 131).

Tabelle 5: Tee-Frostschäden auf 26 Plantagen in der Frostperiode 1971/72.

Nach Unterlagen von R. PADMANABAN, Advisory Officer, Tea Scientific Department (United Planters' Association of Southern India, UPASI, Coonoor), und eigenen Befragungen

Frost damages of tea at 26 plantations during the frost period 1971/72. Source: R. PADMANABAN and author's enquiries

Nr. ¹⁾	Plantage	Meereshöhe ²⁾	Frostschadensfläche (in ha)	davon über 2 Monate ohne Erträge (in %)	Anteil der Frost- schadensfläche an der Teeanbaufläche ³⁾ (in %)
1	Terrace	2180 m	40	25	17
2	Liddlesdale	1981 m	141	71	33
3	Prospect	1844 m	121	66	32
4	Glenmorgan	2057 m	73	44	40
5	Dunsandle	2057 m	81	50	52
6	Kodanaad	1951 m	81	75	42
7	Curzon	1829 m	40	50	30
8	Kil Kotagiri	1798 m	12	33	3
9	Kilmelfort	1905 m	22	0	20
10	Kerbetta	1920 m	16	0	13
11	Corsley	1920 m	14	15	29
12	Farm	2012 m	20	40	32
13	Nonsuch	1524 m	53	15	37
14	Glendale	1600 m	34	29	9
15	Bengorm	1905 m	16	25	10
16	Sutton	1524 m	40	50	13
17	Craigmore	1524 m	121	27	19
18	Terramia	1570 m	12	0	5
19	Karteri	1935 m	53	23	15
20	Lovedale	2316 m	20	40	?
21	Welbeck	2225 m	61	33	66
22	Devashola	1981 m	28	29	19
23	Chamraj	2012 m	121	17	26
24	Emerald Valley	2134 m	93	35	?
25	Korakundah	2256 m	162	50	60
26	Thiashola	1875 m	48	33	25

¹⁾ Lage der Plantagen in Abb. 1.

²⁾ Höhenangaben beziehen sich auf die meistens in der Nähe der Teefabriken installierten Regenmesser. Die Teeanbauflächen selbst können bis zu mehreren hundert Metern darüber und darunter liegen.

³⁾ Teeanbaufläche nach UPASI Planting Directory 1969/70. Für zwei Plantagen liegen keine Angaben vor.

Frostschutzmethode in den Nilgiris, was von den langjährigen Erfahrungen auf Korakundah bestätigt wurde (BHARATHAN 1970). Die Versuche mit Sprühmitteln (Kaliumsulfat u. a.) auf Dunsandle in der Frostperiode 1972/73 durch das private Forschungsinstitut der südindischen Plantagenwirtschaft (vgl. Überschrift zu Tab. 5) ermöglichen noch keine Aufschlüsse über ihre Wirksamkeit im Rahmen der Frostschadensverhütung; außerdem besteht große Skepsis, ob die Probleme der Teegeschmacks-Verschlechterung gelöst werden können.

Viel schwieriger als beim Tee ist es, die sehr frostempfindliche („Frost unter -1 bis -2° C wird weder von den Knollen noch von den oberirdischen Pflanzenteilen vertragen“, CAESAR 1967, 4) und kleinwüchsige (30–40 cm Höhe über dem stark abstrahlenden Ackerboden) Kartoffel vor Schäden zu bewahren. In extremen Jahren bzw. Frostperioden können Totalverluste der zweiten Ernte (im Dezember/Januar) in-

folge frühzeitigen Absterbens der Blätter und Stengel durch Frosteinwirkung nicht ausgeschlossen werden – wie die Beispiele in Tab. 6 zeigen. Das gilt besonders für die Kartoffelfelder bzw. -beete, die entlang kleiner Bäche in leicht bewässerbaren Talmulden liegen oder auf sorgfältig angelegten Terrassen, während nebenan auf unterlassierten Hängen Frostschäden minimal bleiben oder gar nicht auftreten, da die bodennahe Kaltluft in den senkrecht zum Hang gepflanzten Kartoffelreihen abfließen kann – mit anderen Worten: das dringend gebotene und in den vergangenen 15–20 Jahren vor allem im Zusammenhang mit den Wasserspeicher- und Kraftwerksanlagen forcierte *soil conservation*-Programm kann sich für den einzelnen Bauern und kurzfristig recht negativ auswirken (erhöhte Frostschadensgefahr) und wird auch aus diesem Grunde boykottiert; langfristig dürfte dieser Nachteil aber – lokal wie im ökologischen Gesamtzusammenhang des Gebirgsraumes – gering sein, gemessen an den Konse-

Tabelle 6: Erträge bei der zweiten Kartoffelernte auf den staatlichen Saatgutbetrieben in der Nähe von Ootacamund.

Anbauzeit: August/September – Dezember/Januar, daher frostgefährdet

Quelle: Indo-German Nilgiris Development Project, Ootacamund

Second crop potato yields on the State Farms in the vicinity of Ootacamund.

Cultivation period: August/September – December/January, therefore liable to frost damages

Source: Indo-German Nilgiris Development Project, Ootacamund

(in dz/ha)	Höhe über NN	1968	1969	1970	Mittel 1968–70	1971	Abnahme des Ertrages in 1971 gegenüber dem Mittel 1968–70 (in %)
Colgrain	2250 m	58	73	53	61	3	– 95
Dodabetta	2450 m	118	108	77	101	44	– 56
Kakathope	2250 m	68	89	112	90	22	– 76
Kuruthukuli	2100 m	37	97	43	59	14	– 76
Nanjanad	2134 m	52	70	35	52	9	– 83
Tummanatti	2000 m	103	62	62	76	0	–100
Vijayanagaram	2300 m	107	120	70	99	50	– 49
Wood House	2500 m	96	73	40	70	0	–100

quenzen der Bodenzerstörung (*soil erosion*) in den niederschlagsreichen Nilgiris.

Auch für die gut organisierte, in der Regel hohe Gewinne erzielende staatliche Forstwirtschaft in den Nilgiris bedeutete die Frostperiode 1971/72 einen unerwarteten, sehr kostspieligen Rückschlag. In den Jahren zuvor hatte man weite, bislang von Gras bewachsene Areale mit *Eucalyptus globulus* (vor allem im zentralen Teil des Plateaus; vgl. Photo 1) und *Acacia spp.*, überwiegend *var. dealbata* und *decurrens* (in der Kundah Range und im Bereich des oberen Bhavani), aufgeforstet. Obwohl seit langem bekannt ist, daß junge Baumpflanzen während der ersten (eventuell auch zweiten) Frostperiode möglichst durch Abdecken mit Gräsern, Farnkraut oder Flechtwerk vor Frost geschützt werden sollten, verzichtete man angesichts der hohen Kosten für die ausgedehnten Neupflanzungen auf diese Maßnahme – und das ausgerechnet kurz vor den extremen Frostereignissen von November 1971 bis Januar 1972, denen sogar bis zu 5 m hohe Bäume zum Opfer fielen. Die Folgen waren katastrophal, und es ist anzunehmen, daß in Zukunft bei der Aufforstung frostgefährdeter Lagen zu solchen Baumarten übergegangen wird, die zwar langsamer als die australischen „Exoten“ wachsen, dafür aber frostresistent sind und eine Möglichkeit des passiven Frostschutzes darstellen (vgl. WMO 1969, 25–30). Als vielversprechende Alternative bietet sich z. B. die seit 1967 in der Nähe des Mukurti-Stausees (Oberlauf des Moyar; vgl. Abb. 1) und andernorts in Frostlöchern und -mulden mit Erfolg angepflanzte Kiefernart *Pinus patula* an (1972 insgesamt 61 ha, ARUNACHALAM 1972; vgl. Photo 6).

Frost in den Nilgiris ist zwar ein lokales (lokal- bzw. topo-)klimatisches Phänomen, seine ökologischen und ökonomischen Implikationen machen es aber, wie das Beispiel der Frostperiode 1971/72 in Erinnerung gerufen hat, zu einem Problem, das weit über das Ge-

birge hinaus wirkt; denn Land- und Forstwirtschaft im Hochland der Nilgiris produzieren überwiegend für den „Export“: in das südindische Tiefland (Holz, Gemüse, Kaffee, Tee u. a.) und ins Ausland (Tee). Es ist deshalb keineswegs kurios, sondern seiner Bedeutung angemessen, wenn seit 1972 Frostwarnungen für die Nilgiris Bestandteil der vom *Regional Meteorological Centre* herausgegebenen Wetterberichte geworden sind, die auch in den Tageszeitungen im fernen (heiß- bzw. warmtropischen) Madras abgedruckt werden:

“Frost Warning: Ground temperatures may reach zero degree Celsius or less in the hill ranges of Nilgiris District of Tamil Nadu during the next two nights” (*The Hindu*, Madras Edition, 30. 1. 1973).

VI. Schluß

Somit ergibt die Analyse aller verfügbaren, erstmals vom Verfasser systematisch zusammengetragenen und bearbeiteten klimatologischen und ökologischen Beobachtungen, daß in den höheren Lagen der Nilgiris – einem Teilbereich der kalten Tropen Südindiens – Frost als jährlich wiederkehrendes, wenn auch räumlich und zeitlich variables Phänomen ein ausgeprägtes Klimacharakteristikum darstellt – wie in einigen anderen, nach Höhe und Breitenlage vergleichbaren und ebenfalls im periodisch trockenen Monsunbereich der australasiatischen Tropen gelegenen Gebirgsräumen. Dem thermischen Regime der Tropen entsprechend tritt Frost in den Nilgiris nur nachts, d. h. tagesperiodisch auf. Darüber hinaus unterliegt das Frostphänomen aber auch hier einem deutlichen Jahresrhythmus: Nachfröste können unter bestimmten synoptischen Bedingungen von Ende Oktober bis Anfang April auftreten, d. h. innerhalb einer fast halbjährigen (poten-

tiellen) Frostperiode – und von 1400 m Meereshöhe bis zum 2636 m hohen Gipfel des Dodabetta überall dort, wo es aufgrund ungehinderter nächtlicher Ausstrahlung *in situ* zu starker Abkühlung bzw. Unterkühlung kommt und wo die bodennahe Kaltluft akkumuliert bzw. stagniert, d. h. in Geländevertiefungen (Frostlöchern und -mulden) und vor natürlichen oder vom Menschen geschaffenen Barrieren, die den Kaltluftabfluß verhindern.

Wie in anderen Tropengebirgen (TROLL 1959), so reicht auch in den Nilgiris die Aktivität des wirtschaftenden Menschen weit in die „Zone der regelmäßigen Fröste“ (ibid., 34) bzw. in die kalttropische, „thermisch ausgeglichene frostgefährdete Stufe“ (VON WISSMANN 1948, 88) hinein, obwohl die land- und forstwirtschaftliche Nutzung des Nilgiris-Plateaus durch Trockenheit und das damit assoziierte erhöhte Frostrisiko stark behindert wird. Frostschäden an Kulturpflanzen lassen sich in besonders gefährdeten Gebieten und in Jahren großer Frosthäufigkeit und -intensität nur unter Einsatz kostenaufwendiger Frostschutzmaßnahmen verhindern bzw. reduzieren. Damit ist das klimatologisch interessante Frostphänomen auch in den Nilgiris zugleich ein agrarklimatologisch und ökonomisch akutes Problem, das zu weiteren Forschungen herausfordert.

Literatur

- ARUNACHALAM, K.: Scope for Large Scale Planting of Pinus Patula in Nilgiris and Palnis. 1972. (Manuskript, zur Veröffentlichung im Indian Forester, Dehra Dun, eingereicht.)
- BALASUBRAMANIAM, C. und C. M. BAKTHAVATHSALU: A Preliminary Study on Frost Formation at Nanjanad (Nilgiris District). Indian Journal of Meteorology and Geophysics, 7, 404–405, 1956.
- BALASUBRAMANIAM, C. und S. DORAIRAJ: Rainfall Pattern at Nanjanad and its Agricultural Significance. Indian Geographical Journal, 34, 25–31, 1959.
- BAUMGARTNER, A.: Einfluß des Geländes auf Lagerung und Bewegung der nächtlichen Kaltluft. In: F. SCHNELLE (Hg.) 1963, 151–194.
- BHARATHAN, G.: Frost Control. In: The Nilgiris Planters' Association (Hg.), Maximisation of Tea Yields, o. O., 107–111, 1970.
- BIRCH, D.: Topographical Report on the Nilgherries. Madras Journal of Literature and Science, VIII, 86–127, 1838.
- BLASCO, F.: Montagnes du Sud de l'Inde. Forêts, Savanes, Ecologie. Institut Français de Pondichéry, Travaux de la Section Scientifique et Technique, X (1), Madras 1971.
- BLÜTHGEN, J.: Allgemeine Klimageographie. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, Band II, (2. Aufl.) Berlin 1966.
- BRAAK, C.: Het Klimaat van Nederlandsch Indië. Verhandelingen Koninklijk Magnetisch en Meteorologisch Observatorium te Batavia, No. 8, 2 Bände, Weltevreden 1929.
- BROWN, M. und J. M. POWELL: Frost and Drought in the Highlands of Papua New Guinea. Journal of Tropical Geography, 38, 1–6, 1974.
- CAESAR, K.: Ökologische Probleme beim Anbau der Kartoffel in niederen Breiten, unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Ceylon. Schriftenreihe der Förderungsgemeinschaft der Kartoffelwirtschaft, Heft 14, Hildesheim 1967.
- CHAKRAVORTTY, K. C.: Discussion on a Method of Predicting Night Minimum Temperature in Winter. India Meteorological Department (Hg.), Scientific Notes, XI (135), New Delhi 1950.
- DOCTERS VAN LEEUWEN, W. M.: Biology of Plants and Animals Occurring in the Higher Parts of Mount Pangrango-Gedeh in West-Java. Verhandelingen Koninklijk Akademie van de Wetenschappen Amsterdam, Afdeling Natuurkunde (Tweede Sectie), Deel XXXI, Amsterdam 1933.
- DOMRÖS, M.: Frost in Ceylon. Archiv für Meteorologie, Geophysik und Bioklimatologie, Serie B, 18, 43–52, 1970.
- : The Agroclimate of Ceylon. Contribution Towards the Ecology of Tropical Crops. Geocological Research, Vol. 2, Wiesbaden 1974.
- : Über das Vorkommen von Frost auf Java/Indonesien, insbesondere in den Pengalengan Highlands. Erdkunde, 30, 97–108, 1976.
- ELIOT, J.: Climatological Atlas of India. Edinburgh 1906.
- FLOHN, H.: Elements of a Synoptic Climatology of the Indo-Pakistan Subcontinent. Bonner Meteorologische Abhandlungen, 14, 5–28, 1970.
- GEIGER, R.: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Ein Lehrbuch der Mikroklimatologie. Die Wissenschaft, Band 78, (4. Aufl.) Braunschweig 1961.
- JUNGHUHN, F.: Java. Seine Gestalt, Pflanzendecke und innere Bauart. (Übers. d. 2. verb. Aufl. d. holländischen Originals), Band 1, Leipzig 1852.
- KÖPPEN, W.: Das geographische System der Klimate. In: W. KÖPPEN und R. GEIGER (Hg.), Handbuch der Klimatologie, Band I, Teil C, Berlin 1936.
- KREBS, N.: Das Hochland der Nilgiris. Geographische Zeitschrift, 39, 11–29, 1933.
- LAUER, W.: Vom Wesen der Tropen. Klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels. Abhandlungen der Math.-Naturw. Klasse der Akademie der Wissenschaften und Literatur, Jahrgang 1975, Nr. 3, Mainz 1975.
- LAUER, W. und P. FRANKENBERG: Zum Problem der Tropengrenze in der Sahara. Erdkunde, 31, 1–15, 1977.
- LEGRIS, P. und F. BLASCO: Variabilité des Facteurs du Climat: Cas des Montagnes du Sud de l'Inde et de Ceylon. Institut Français de Pondichéry, Travaux de la Section Scientifique et Technique, VIII (1), Pondichéry 1969.
- VON LENGERKE, H. J.: The Nilgiris. Weather and Climate of a Mountain Area in South India. Beiträge zur Südasienforschung, Band 32, Wiesbaden 1977.
- : Die Definition und Abgrenzung der Tropen nach H. VON WISSMANN – eine erläuternde Richtigstellung zum Lehrbuch von J. BLÜTHGEN. Geographische Zeitschrift, 65, 1977a.

- : On the Short-Term Predictability of Frost and Frost Protection – a Case Study on Dunsandle Tea Estate in the Nilgiris (South India). *Agricultural Meteorology*, 19, 1978, im Druck.
- MARBY, H.: Tea in Ceylon. An Attempt at a Regional and Temporal Differentiation of the Tea Growing Areas in Ceylon. *Geocological Research*, Vol. 1, Wiesbaden 1972.
- MITCHELL, N.: The Indian Hill-Station: Kodaikanal. University of Chicago, Department of Geography Research Paper No. 141, Chicago 1972.
- RAMDAS, L. A.: Frost Hazard in India. *Current Science*, 3, 325–333, 1935.
- : Crops and Weather in India. New Delhi 1961.
- : Weather and Climatic Pattern. In: K. S. MANI (Hg.), *Ecology and Biogeography in India*, The Hague, 99–134, 1974.
- SAPPER, K.: Die Tropen. Natur und Mensch zwischen den Wendekreisen. Stuttgart 1923.
- SCHNEIDER, M.: Begriff und Einteilung des Frostes. In: F. SCHNELLE (Hg.) 1963, 3–12.
- SCHNELLE, F. (Hg.): Frostschutz im Pflanzenbau. Quellenwerk über den Nachtfrost, seine Entstehung, Vorhersage und Abwehr, Band I (Die meteorologischen und biologischen Grundlagen der Frostschadensverhütung), München 1963.
- : Physiologische Ursachen der Frostschäden. In: F. SCHNELLE (Hg.) 1963, 384–390, 1963a.
- : Die verschiedenen Formen der Frostschäden. In: F. SCHNELLE (Hg.) 1963, 391–394, 1963b.
- SCHWEINFURTH, U.: Geoökologische Beziehungen zwischen der temperierten Zone der Südhalbkugel und den Tropenbergen im australasiatischen Sektor. *Erdwissenschaftliche Forschungen*, Band 11, Wiesbaden, im Druck.
- VAN STEENIS, C. G. G. J.: Frost in the Tropics. In: R. MISRA und B. GOPAL (Hg.), *Proceedings of the Symposium on Recent Advances in Tropical Ecology*, Vol. 1, Varanasi, 154–167, 1972.
- SUPAN, A.: Die Temperaturzonen der Erde. *Petermanns Geographische Mitt(h)eilungen*, 25, 349–358, 1879.
- SYKES, W. H.: Discussions of Meteorological Observations Taken in India, at Various Heights, Embracing those at Dodabetta on the Neelgherry Mountains, at 8640 Feet above the Level of the Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London for the Year 1850, Part I*, London, 297–378, 1850.
- TROLL, C.: Thermische Klimatypen der Erde. *Petermanns Mitteilungen*, 89, 81–89, 1943a.
- : Die Frostwechselfrequenz in den Luft- und Bodenklimaten der Erde. *Meteorologische Zeitschrift*, 60, 161–171, 1943b.
- : Die tropischen Gebirge. Ihre dreidimensionale klimatische und pflanzengeographische Zonierung. *Bonner Geographische Abhandlungen*, Heft 25, Bonn 1959.
- : Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. *Erdkunde*, 18, 5–28 (mit Kartenbeilage: C. TROLL und K. PAFEN, „Die Jahreszeitenklimate der Erde“), 1964.
- VAUPEL, A.: Advektivfrost und Strahlungsfrost. *Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes*, Band 17, Offenbach 1959.
- WADDELL, E.: The Mound Builders. *Agricultural Practices, Environment, and Society in the Central Highlands of New Guinea*. Seattle/London 1972.
- : Frost over Niugini. A Retrospect on Bungled Relief. *New Guinea*, 8, 39–49, 1974.
- VON WERNER, D.: Land Use and Settlement on the High Plains around Nuwara Eliya, Ceylon. (unveröff.) Dissertation, Naturwiss. Fak., Heidelberg 1972.
- VON WISSMANN, H.: Pflanzenklimatische Grenzen der warmen Tropen. *Erdkunde*, 2, 81–92, 1948.
- World Meteorological Organization* (Hg.): Protection against Frost Damage. WMO Technical Note, No. 51, (Nachdruck, 1. Aufl. 1963) Geneva 1969.
- YOSHINO, M. M.: Climate in a Small Area. An Introduction to Local Meteorology. Tokyo 1975.

NORDAFRIKANISCHE TROCKENSTEPPENGESELLSCHAFTEN

Zur ökologischen Erklärung der räumlichen Differenzierung der Vegetation zwischen Mittelmeer und Sahara¹⁾

Mit 4 Abbildungen, 4 Photographien, 2 Tabellen und 2 Beilagen (II a + b)

KLAUS MÜLLER-HOHENSTEIN

Summary: North African arid steppe societies

In contrast to the Mediterranean and even to the northern Sahara the vegetation of the North African belt of arid steppe has so far only been accorded description in surveys of relatively large areas.

This study represents an attempt to make a more exact registration of the most significant plant societies of this

region in the case of the high plateau of eastern Morocco. Defined on the basis of plant sociology *Stipa tenacissima* and *Artemisia herba-alba* societies and their distribution patterns are discussed and explained with the help of selected parameters of edaphic and climatic variants.

The results are indispensable as a basis for further investigations of the economic potential of regions of arid steppe.

Die vegetationskundliche Erforschung Nordwestafrikas ist im Vergleich zu anderen afrikanischen Räumen erstaunlich weit fortgeschritten. Schon seit der Mitte des 19. Jahrhunderts haben französische Bota-

¹⁾ Die Grundlagen der hier vorgestellten Ergebnisse wurden während eines 18monatigen Aufenthalts in Marokko in den Jahren 1973/74 im Gelände erarbeitet. Das war nur mit Hilfe einer großzügigen Unterstützung der DFG möglich, der auch an dieser Stelle dafür gedankt sei.