Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 119 (1968)

Heft: 4-5

Artikel: Der heutige Stand der Forschung über den Einfluss des Waldes auf das Klima

Autor: Turner, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-765566

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 04.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der heutige Stand der Forschung über den Einfluß des Waldes auf das Klima

Von *H. Turner* Oxf. 111

Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf ZH

1. Einleitung

Klima ist die Gesamtheit der Wettervorgänge an einem gegebenen Ort. Daß der Wald in seinem unmittelbaren Bereich einen sehr bedeutenden und vielfältigen Einfluß auf die meteorologischen Vorgänge ausübt, kann der Mensch täglich, ohne zu messen oder zu rechnen, allein schon durch seine Sinne erfahren. Sowohl die durch den Wald geprägten, standortsgebundenen Klimate als auch deren Rückwirkungen auf die belebte Natur sind seit etwa 100 Jahren Gegenstand intensiver und weltweit erfolgreicher wissenschaftlicher Betätigung der Forstmeteorologie.

Diese Disziplin hatte anfangs in Deutschland forstpolitische Aufgaben; sie sollte beweisen, daß der Wald, solange er steht, die Wohlfahrt von Land und Leuten garantiert (R. Geiger, 1961), übernahm dann für lange Zeit die Funktion einer Hilfswissenschaft für Waldbau, entwickelte sich aber in den letzten Jahrzehnten immer mehr zu einer selbständigen Wissenschaft. Biometeorologische Fragestellungen traten immer mehr an Stelle der bloßen Klimabeschreibung, vornehmlich Untersuchungen über die meteorologische Steuerung des Pflanzenwachstums, wobei im Interesse nur gemeinsam zu erreichender Ziele die Arbeitsmethoden auf die besonderen Bedürfnisse der biologischen Nachbarwissenschaften abgestimmt wurden. Die weltwirtschaftliche Entwicklung bringt es mit sich, daß heute die ursprünglichen Fragen nach der Wohlfahrtsfunktion, kombiniert mit neuen Fragen – beispielsweise nach dem Erholungswert der Wälder (P. Dürk, 1965) –, immer wichtiger werden und der Aufbau der Forschung auf diesen Gebieten durch Gründung neuer Institute in den USA schon zielbewußt vorangetrieben wird. In diesem Zusammenhang gewinnt die Frage, wie weit der klimatische Einfluß des Waldes reicht, wieder besondere Aktualität. Haben stark bewaldete Länder ein anderes Klima als schwach bewaldete? Seit altersher glaubt man, daß auch diese Frage bejaht werden dürfe, aber der exakte Nachweis solcher klimatischer Fernwirkung des Waldes stieß zunächst auf unüberwindliche Schwierigkeiten, schon deshalb, weil man keine zwei Länder fand, die einen stark unterschiedlichen Waldanteil, aber sonst gleiche Bedingungen aufweisen. Mit der Größe des betrachteten Areals wuchsen die Schwierigkeiten,

und bald erkannte man, daß außer den horizontalen auch beträchtliche vertikale Fernwirkungen in Betracht gezogen werden müßten (E. Ebermayer, 1873), aber zur Lösung solcher Probleme fehlten erst recht die methodischen Voraussetzungen. War in der Mitte des vorigen Jahrhunderts die Überzeugung, daß «die Bewaldung eines Landes den mächtigsten Einfluß auf das Klima hat» (C. Grebe, 1852), noch mehr oder minder gefühlsmäßig begründet und durch die tägliche Erfahrung eines eigenen Wetters im Wald und am Waldrand genährt, so ist heute vor allem die biophysikalische Konzeption des pflanzlichen Energiehaushaltes in Kombination mit der meteorologischen Austauschtheorie und hochentwickelter technischer Mittel in der Meßmethodik geeignet, die Frage der klimatischen Fernwirkung des Waldes aus dem Streit von Meinungen und Behauptungen herauszuheben und auf gesicherten Fundamenten einer Lösung näherzuführen.

Aber schon bevor diese sich als so fruchtbar erweisende umfassende energetische Betrachtungsweise in exakter physikalischer Formulierung von F. Albrecht (1930) endgültig in die Meteorologie eingeführt wurde, war man zur Erkenntnis gekommen, daß die typischen Einflüsse des Waldes auf die Umgebung gar nicht erfaßt werden *können,* wenn man – wie dies in der Periode der forstlichen Doppelstationen (etwa von 1880 bis 1900) geschah – nur das Klima im Stammraum des Waldes (unterhalb des Niveaus der größten Energieumsetzungen) mit dem Klima des Freilandes, das ja oberhalb dieses Niveaus gemessen wird, vergleicht. Heute weiß man längst und ist quantitativ belegt, daß die klimatischen Haupteinflüsse des Waldes auf die Umgebung nicht vom Stammraum ausgehen, sondern von der Kronenoberfläche. Diese Einflüsse sind für den gesamten Landschaftshaushalt um so bedeutender – der Wald aber gegen Eingriffe des Menschen um so empfindlicher –, je näher der Wald an jene Grenzen rückt, wo ein für sein Gedeihen wichtiger Faktor in ein unerträgliches Minimum gerät, sei es nun an der Kälte- oder Frosttrocknisgrenze im Gebirge und in den Polarländern oder dort, wo klimatische oder edaphische Trockenheit, Nässe oder die Schneedecke dem Baumwuchs eine Grenze setzt (H. Aulitzky, 1965; H. Ellenberg, 1966; W. Tranquillini, 1966). Wenn man an die Verhältnisse in extremen Industrielandschaften denkt, hat der Wald nicht zuletzt an heute schon bestehenden zivilisatorischen Vergiftungsgrenzen eine wichtige, aber schwierige klimatische Schutzaufgabe zu erfüllen.

Als neuere Übersicht über das Gesamtgebiet der forstlichen Meteorologie ist vor allem der Abschnitt «Forstmeteorologische Klimafragen» im «Klima der bodennahen Luftschicht» von R. Geiger (1961) zu nennen, aber eigentlich sind alle Abschnitte dieses Standardwerkes einschlägig. Im gleichen Jahr erschien eine russische Forstklimatologie von A. A. Molcanov et al. (1961). Für das englische Sprachgebiet sind wichtig die Literaturzusammenstellungen von I. L. Dordick und G. Thuronyi (1957) und die deskriptiven Übersichten von R. E. Munn (1964, 1966). Speziell über Einflüsse von

Baumvegetation auf das Klima referieren unter anderen J. F. Hughes (1949–1950), der Altmeister dieser Forschungsrichtung J. Kittredge (1962) und R. J. van der Linde (1966), aber auch G. Flemmings wertvolle Arbeit «Das Klima an Waldbestandsrändern» (1964) muß hier genannt werden. Einen zwar knappen, aber umfassenden, weitreichenden und klaren, die wesentlichen Probleme scharf erfassenden Überblick über die «Entwicklungslinien der forstlichen Meteorologie» bis in die jüngste Zeit bietet A. Baumgartner (1967).

2. Das Bestandesklima und das Klima in Waldnähe

In den mannigfaltigen Zusammenhängen zwischen Wald und Atmosphäre ist das Klima im Stammraum und darüber hinaus das ganze Bestandesklima einschließlich Waldboden- und Kronenraumklima am besten erforscht und bereits Lehrstoff an vielen Hochschulen und forstlichen Ausbildungsstätten geworden. Es braucht hier nur kurz daran erinnert zu werden, daß Kronenraum und bemantelter Bestandesrand die meteorologischen Austauschvorgänge stark behindern, so daß es im Walde tatsächlich zur Ausbildung eines eigenen Klimas kommt, das sich vom Freilandklima durch wesentlich größere luftthermische Ausgeglichenheit, durch Luftruhe und Beschattung, durch Änderung fast aller Klimafaktoren, markant unterscheidet.

Sonnenstrahlung und Wind sind im Verein mit den Bestandesparametern die entscheidenden Faktoren, die das Bestandesklima hervorbringen und die pflanzliche Produktion steuern. Einen überaus begrüßenswerten Versuch, die wichtigen Beziehungen zwischen Wald und Strahlung einmal in einer Monographie darzustellen, haben W. E. Reifsnyder und H. W. Lull (1965) unternommen. Eine eigene Tagung über das Thema «Wald und Strahlung» wurde in der Sowjetunion abgehalten (Yu. L. Cel'niker, 1967).

Das bei sonnigem Wetter so auffällige, unregelmäßige Mosaik der Strahlungsverteilung am Waldboden ist jedermann bekannt; in den größeren wandernden Lichtinseln vermag die Intensität fast bis auf Freilandstärke anzusteigen, an den schattigen Stellen sinkt sie (in den Wäldern der gemäßigten Zone) bis auf wenige Prozente der Freilandintensität ab. Die diffuse Strahlung von Wolken und vom blauen Himmel vermag in den Bestand prozentuell ungefähr doppelt so stark einzudringen wie die direkte Sonnenstrahlung. Die Bodenvegetationsverteilung scheint mit der diffusen, täglich wirkenden Strahlung enger korreliert zu sein als mit der direkten. In neuen Untersuchungen hat sich herausgestellt, daß bei horizontaler Blattstellung theoretisch bereits drei übereinanderliegende Blattschichten genügen, um das für die pflanzliche Nettostoffproduktion kritische Lichtminimum von etwa fünf Prozent hervorzubringen (T. Saeki, 1963). Eine Reihe von Forschern beschäftigt sich neuerdings mit der qualitativen Veränderung der Strahlung infolge der selektiven Filterwirkung durch das Kronendach. In

den Beständen wird eine starke Erhöhung der Grünanteile, vor allem aber der Infrarotanteile festgestellt (C. A. Federer und C. B. Tanner, 1966; W. E. Loomis, 1965; P. E. Vezina und D. W. K. Boulter, 1966). Laubbäume reflektieren die Infrarotstrahlung mit 15 Prozent etwa doppelt so stark wie Koniferen und sogar viermal stärker als Moose (F. Obaton, 1949). Um die unregelmäßige Lichtverteilung in verschiedenen Bestandestypen repräsentativ ermitteln zu können, haben K. T. Logan und E. B. Peterson (1964) eine statistische Methode entwickelt und angewendet.

Der Wind wird im Bestand je nach Dichte und Belaubungszustand auf 10 bis 50 Prozent der Freilandstärke gebremst. R. W. Cooper (1965) und M. Leikola (1967) haben neue Windprofile in Föhrenwäldern aufgenommen, und es hat sich bestätigt, daß die Windgeschwindigkeit im Stammraum gegenüber dem Kronenraum deutlich verringert ist.

Der Pufferung der Temperaturschwankungen durch die Pflanzenmasse widmete T. Grenves (1965) eine eigene Untersuchung, während A. Galoux (1967) den Mechanismus der nächtlichen Abkühlung der Luft im Bestand studiert und zum Ergebnis kommt, daß über dem Boden die Temperaturen einem Inversionsregime unterliegen, während im Kronenraum eine normale Abnahme mit der Höhe und beträchtliche Turbulenz gegeben ist. In einem Bestand mit geschlossenem Kronendach wären solche Verhältnisse nicht gut denkbar. Mit der Auflockerung des Bestandes schwindet der thermische Gegensatz zum Freiland.

Hinsichtlich des Wasserdampfgehaltes der Waldluft scheinen die altbekannten, etwas überraschenden Feststellungen, daß er praktisch gleich groß wie im Freiland ist, nicht durch gegenteilige Untersuchungsergebnisse entkräftet werden zu können. Die relative Luftfeuchtigkeit ist aber wegen der geringeren Temperatur im Wald bis um 10 Prozent erhöht.

Die Temperatur des Waldbodens ist fast das ganze Jahr hindurch erniedrigt, am stärksten im Sommer (noch im Mittel um 3–5 °C), ist jedoch außerordentlich stark von den Kleinstandorten und von der Strahlung beeinflußt (H. Aulitzky, 1961; W. W. Jeffrey, 1963).

Die Verteilung der meteorologischen Elemente im Bestand kann am besten verstanden werden, wenn man ihre Abhängigkeit von den Bestandesparametern, insbesondere von dem Blattflächenindex, herleitet. Dies ist eine der neueren Tendenzen der Bestandesklimaforschung, wie sie beispielsweise in den Arbeiten von T. Saeki (1963) und G. C. Evans (1966 und andere) bezüglich Strahlung und Temperatur, von H. E. Poppendick (1949), W. E. Reifsnyder (1955) und E. R. Lemon et al. (1963) über Windprofile und die Austauschvorgänge zum Ausdruck kommt. Es wird in Zukunft sicherlich darum gehen, aus der Struktur irgendwelcher Bestände deren Einflüsse auf das Klima, auf den Wärme- und Wasserhaushalt und auf die Ökologie der Stoffproduktion für Planungszwecke vorherzusagen oder umgekehrt, je nach gewünschtem Effekt die Bestandesstruktur zu gestalten.

Daher werden mathematisch mit Parametern der Bestandesstruktur beschreibbare *Modelle des Bestandesklimas* künftig noch große Bedeutung erlangen. Das Lichtprofil in einem Bestand läßt sich beispielsweise durch eine ganz einfache Formel beschreiben, weil mit zunehmender Überschirmungsfläche (Blattflächenindex) der Logarithmus der relativen Beleuchtungsstärke linear abnimmt.

In den großen Nadelwaldgebieten der nördlichen Halbkugel sieht man den klimatischen Einfluß des Waldes im Hinblick auf die Wuchsbedingungen für landwirtschaftliche Produkte noch manchmal mit kritischen Augen an. Die Erkenntnis, daß auch dort die wohltätigen Wirkungen auf die Umgebung vorwiegen, wird sich aber immer mehr durchsetzen, sobald das Wissen um die energetischen Grundlagen des klimatischen Waldeinflusses besser verbreitet wird.

V. F. Izotov (1965) berichtet von Untersuchungen in den versumpften Wäldern Nordrußlands: Verglichen mit dem Freiland milderten die Wälder (in 2 m Höhe) die Temperaturextreme und verminderten die Anzahl der Fröste pro Vegetationsperiode, sie verzögerten die Schneeschmelze und das Auftauen des Bodens, sie verminderten die Bodentemperatur und verkürzten die Vegetationsperiode.

2.1 *Waldklima und Geländeklima*

In einigen neuen Untersuchungen wird analysiert, welche Wirkungen bewaldete und unbewaldete Gebiete auf das Lokalklima haben und die sich ergebenden Unterschiede werden mit jenen verglichen, die sich gleichzeitig aus verschiedenen Geländeexpositionen ergeben. In sehr bedeutungsvollen solchen Versuchen hatten M. T. Jackson und J. E. Newman (1967) naturgemäß zunächst Schwierigkeiten, weil die Expositionsklimate durch den jahreszeitlich ändernden Sonneneinfallswinkel und durch die jahreszeitlich unterschiedliche Kronendichte beeinflußt wurden. Sie interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, daß die klimatischen Unterschiede zwischen bewaldeten und unbewaldeten Gebieten so groß sein können wie jene zwischen zwei gegensätzlich exponierten Berghängen. Die Versuchsansteller haben sich auch die reizvolle Aufgabe gestellt, jene Klimaänderungen zu untersuchen, die im Verlauf von pflanzensoziologischen Sukzessionen auftreten. Etwas schwieriger sind die Ergebnisse T. L. Robinsons (1966) zu interpretieren, der (ebenfalls in den USA) bewaldete Nord- und Südhänge mikroklimatisch untersuchte, ohne daß es möglich war, die topoklimatischen Einflüsse von den bestandesklimatischen zu trennen. Robinson erwähnt als kombinierten Einfluß von Geländeexposition und Kronendichte die vergleichsweise sehr geringe Beleuchtungsstärke innerhalb der in Nordexposition stockenden Bestände. Auch die kleinsten Höhengradienten der Lufttemperatur traten auf den Nordhängen auf, die größten auf den Südhängen. Einen deutlichen Hinweis auf die Rolle der Bestandestranspiration

auf feuchten Standorten erlaubt die Feststellung, daß im Verlauf der Blattentfaltung eine deutliche Verringerung der relativen Luftfeuchtigkeit zu beobachten war; die geringste Luftfeuchtigkeit war erreicht, sobald das Laub voll entfaltet war.

Auch in der Tschechoslowakei werden intensiv geländeklimatologische Probleme im Zusammenhang mit den durch die Vegetation verursachten Mikroklimaten untersucht (V. Havlicek, Brno; briefl. Mitt.). J. Horak (1966) legte bereits Mikroklimadaten für neun verschiedene Laubwaldtypen auf topographisch unterschiedlichen Standorten in den südmährischen Pollauer Bergen von 238 bis 550 m ü. M. vor. In fast allen Gebirgsländern mit Waldanteil – die einschlägigen Untersuchungen von K. Ermich et al. (1966), R. Intribus (1965) und St. Myczkowski (1964) auf der Nord- und Südabdachung des Tatragebirges nicht zu vergessen – wird jetzt diesen Problemen große Bedeutung beigemessen, ist es doch oft notwendig zu überblicken, welche klimatischen Bedingungen zu erwarten sind, wenn ein Hang aufgeforstet werden soll oder wenn sein Waldkleid abgetrieben wird. Fest steht schon jetzt, daß die gegenseitige Beeinflussung von Expositionsklima und Waldklima besonders ausgeprägt ist, daß der eine Einfluß den anderen stark modifiziert und umgekehrt. Der Mikroklimatologie und -ökologie wird ja gerade auch in den Alpen die größte Bedeutung für Hochlagenaufforstungen beigemessen (H. Aulitzky, 1963; R. Hampel et al., 1961–63; H. Turner, 1966). Im Hochgebirge «gibt es aus dem Zusammenwirken von Besonnung, Wind und Schnee in gleicher Seehöhe starke reliefgebundene mikroklimatische Gegensätze, die sich bei gleichem Relief, gleicher Exposition und Höhenlage immer wiederholen ... ohne die intime Kenntnis der Geländeklimate wäre die Wiederaufforstung an der Waldgrenze ein hoffnungsloses Unterfangen» (A. Baumgartner, 1967). Ähnlich wie in der modernen Bestandesklimatologie werden auch in der topoklimatologischen Forschungsrichtung mathematisch-empirische Klimamodelle immer größere Bedeutung erlangen. Voraussetzung dafür, daß solche Modelle mit Hilfe topographischer Karten und Luftbildinterpretation mit hinreichender Genauigkeit ins Gelände übertragen werden können, ist, daß ein genügend enger Zusammenhang zwischen den Geländeparametern und den meteorologischen Ausgangsgrößen ermittelt werden kann. K. Knoch (1963) gab zuerst die umfassende Konzeption. Ihre bisher wahrscheinlich großzügigste Verwirklichung konnte bezüglich Besonnung von R. Lee und A. Baumgartner (1966) für das Gesamtgebiet des Fichtelgebirges erreicht werden.

2.2 Neue hydrometeorologische Aspekte des Waldklimas

Eine besondere Auswirkung des Waldes auf das Klima, die lange Zeit eine Streitfrage war, aber in unserem Klimagebiet vornehmlich von J. Grunow (1955, 1964) immer wieder verfochten und methodisch erschlos-

sen wurde, ist die Niederschlagsvermehrung durch den Wald durch zusätzliche Einnahmen aus driftendem Nebel. O. Kerfoot (1968) hat jetzt eine bewunderungswürdige Auswertung der weltweiten Literatur (156 Titel) allein zu diesem speziellen Thema vorgelegt. Es ist entschieden, daß in bestimmten Klimaten und orographischen Lagen, auch in Mitteleuropa, der Wald eine ganz bedeutende «Produktion» nutzbaren Wassers aus der nebelhaltigen Atmosphäre zuwege bringt, und zwar werden die Koniferennadeln (und ähnlich fein zerschlitzte Blätter tropischer Angiospermen) als die wirksamsten Nebelfänger und Kondensatoren für Rauhreif angesehen. Es hat sich gezeigt, daß die Größe des Nebelniederschlages sehr stark von der Geschwindigkeit der anströmenden nebelhaltigen Luft abhängig ist. Der Nebelniederschlag scheint einer der bedeutendsten Standortsfaktoren für die Verteilung der Waldtypen in tropischen, insbesondere küstennahen Gebirgsländern zu sein (Musterbeispiele: Teneriffa, Peru, Ceylon), aber auch in den Randzonen der Alpen muß ihm mehr Augenmerk als bisher für die Pflanzenökologie und Wasserhaushaltsbilanz geschenkt werden.

Auf einem anderen, aber erst seit kürzerer Zeit beschrittenen «Seitenpfad» der forstlichen Hydrometeorologie (auf den mich freundlicherweise Kollege Dr. Th. Keller aufmerksam machte) – der aber bereits in die Pflanzenphysiologie mündet, wird der Auslaugung und Abwaschung der Pflanzenteile durch den Niederschlag nachgegangen und gefunden, daß der Ionengehalt des Regenwassers von den Blättern und der Rinde mehr oder weniger stark verändert wird. Im unbeeinflußten Regenwasser ist im allgemeinen der Ionengehalt hauptsächlich marinen, zum kleineren Teil terrestrischen Ursprungs (P. M. Attiwill, 1966). Es hängt ganz von den örtlichen Verhältnissen ab, ob die durch die Pflanzen bewirkte Veränderung der Ionenkonzentration mehr von der Auslaugung der Blätter oder mehr von der Abspülung pflanzlicher Ausscheidungen und Verunreinigungen herstammt. Unter Pflanzendecken kann es zu beträchtlichen Erhöhungen der Konzentration bestimmter Ionen im durchtropfenden und ablaufenden Regenwasser kommen. Welche biologische Bedeutung diese in den Wurzelraum gelangende und von den Pflanzen potentiell verwertbare Stoffzufuhr hat, ist noch größtenteils ungeklärt; es kommt dabei sehr darauf an, ob der Pflanzenstandort an diesen Stoffen Mangel leidet oder nicht. In Belgien veröffentlichte S. Denaeyer-de Smet (1966) solche Bestimmungen der Mineralstoffe im Regenwasser unter Buche, Hainbuche, Vogelkirsche und Stieleiche. Im Wald enthielt der Niederschlag immer deutlich mehr K und Ca als im Freien, auch wenn die Bäume entlaubt waren. Im belaubten Zustand war unter Buche der K-Gehalt bedeutend geringer als unter den anderen Laubbäumen. Während des Vergilbens der Blätter stieg der K-Gehalt rasch an und erreichte während dieser Periode die Hälfte der Jahresmenge (bis zu 14,8 kg/ha), während die Ca-Gehalte ungefähr auf dem gleichen Niveau wie in der Vegetationsperiode verblieben. Erst im Winter stieg der Ca-Gehalt an,

beträchtlich aber nur unter Stieleiche (bis 35 mg/lt). – In Rußland wurden ähnliche Untersuchungen von L. K. Pozdnyakov (1967) veröffentlicht, welche auch Nadelhölzer einbeziehen.

2.3 Der Wald als Schutzwehr gegen Wind, Lärm und Staub

Die *Windschutzforschung* hat in den letzten Jahrzehnten einen so großen Aufschwung genommen und so schöne umfassende Darstellungen gefunden, daß hier wohl darauf verzichtet werden kann, näher auf sie einzugehen. Die größten Probleme sind heute weitgehend abgeklärt. Die meteorologische Seite der Frage, die Variationen des Windfeldes im Bereich von Windschutzanlagen, ist gültig und gründlich insbesondere von W. Nägeli (1965 u. a.) bearbeitet worden. Das Kapitel «Der künstliche Windschutz» bei R. Geiger (1961) legt dafür beredtes Zeugnis ab. Unter den neueren zusammenfassenden Darstellungen sind auch besonders wertvoll jene von C. Kuhlewind et al. (1955), G. Guyot (1963) und J. van Eimern et al. (1964). Insbesondere die britischen Verhältnisse sind berücksichtigt im Buch von J. M. Caborn (1965). Vermutlich wird sich die Windschutzforschung in Zukunft noch mehr der physiologischen und ertragskundlichen Seite zuwenden, da es auf diesem Gebiet noch an gründlichen und systematischen Arbeiten mangelt.

Es wird noch vielfach angezweifelt, ob Grünanlagen und Wald auch das *Schallklima* wesentlich beeinflussen können. Doch gerade in dieser Frage wurden in den letzten Jahren gute Fortschritte erzielt. Die Bibliographie von M. Kämpfer (1967) nennt allein etwa 30 deutsche Arbeiten zu diesem Thema, aber nicht alle handeln von eigenen Untersuchungen. Ziemlich übereinstimmend stellen T. F. W. Embleton (1963), W. Heß und E. Kürsteiner (1962) sowie F. J. Meister und W. Ruhrberg (1959) fest, daß Wälder für horizontale Schallausbreitung ein dämpfendes, stärker als Luft energieverbrauchendes Medium darstellen und auch als einigermaßen selektives Filter wirken. Die hohen, unangenehmen Schallfrequenzen werden von Wäldern besser als tiefe Frequenzen reflektiert und durch Resonanzschwingung der dünnen Pflanzenteile absorbiert (in kinetische Energie umgewandelt).

Dichter mehrstufiger Jungwald vermindert nach Heß und Kürsteiner den Lärmpegel, gemittelt über alle Schallfrequenzen, um durchschnittlich 0,16 dB pro Meter, das bedeutet also, daß ein solcher Wald von 200 bis 250 m Tiefenerstreckung beispielsweise Verkehrslärm um 35 bis 45 dB zu vermindern vermag, das entspricht einer Dämmwirkung wie freies Feld von 1,8 bis 2 km Ausdehnung. Eine Lärmverminderung in diesem Ausmaß müßte angestrebt werden, wenn eine Belästigung von Wohngebieten durch starken Verkehrslärm zuverlässig vermieden werden soll.

Nach F. Bruckmayer und J. Lang (1966) soll eine streifenweise Anordnung von Waldriegeln und unbewaldeten Zwischenräumen eine noch

wirksamere Lärmabwehr darstellen als ein zusammenhängender Waldstreifen, doch fehlt meines Wissens noch eine empirische Überprüfung dieser Hypothese. Keinesfalls aber genügen einige Baumreihen nach Art der Windschutzpflanzungen, um den Lärm wirkungsvoll abzudämmen.

R. Geiger (1961) weist darauf hin, daß die Schallausbreitung durch die meteorologischen Verhältnisse maßgeblich beeinflußt werden kann, insbesondere spielt die Schichtung der bodennahen Atmosphäre neben der Windrichtung akustisch eine große Rolle. Dort, wo häufig Temperaturinversionen auftreten, wie in Tälern und Mulden und besonders nachts, ist die Schallausbreitung bedeutend erhöht. Die Luftturbulenz dagegen vermindert die Hörbarkeit, am stärksten an Strahlungstagen um die Mittagszeit.

Gegen *Staubausbreitung* stellen lockere Bestände infolge der Sieb- und Gitterwirkung ein wirkungsvolleres Staubfilter dar als dichte. Die größte Filterwirkung gegen Staub entfaltet der Wald nach D. Hennebo (1955), H. Zenker (1954) und anderen vor allem an lockeren, etwa 50 Prozent durchlässigen Luvrändern, die ähnlich wie Siebe wirken, die der schmutzigen Luft entgegengehalten werden. Ist der Luvrand aber dicht, so bildet sich durch Luftstau ein windwärts des Bestandes gelegenes windschwaches Luftkissen aus, und der Wind steigt entlang dessen Oberfläche über den Bestandesrand hinweg, wobei es infolge einer Kompression der Stromlinien zu einer Geschwindigkeitszunahme kommt. Begünstigt durch die stark turbulente Strömung oberhalb der rauhen Baumkronen kommt es dann zu einer Staubsedimentation auf der Bestandesoberfläche in Größenordnungen von 30 t/ha (Fichte) bis 60 t/ha (Buche). Der angesammelte Staub wird beim nächsten größeren Regen wieder abgewaschen und gelangt weitgehend schadlos in den Boden.

So gut man über die Wirkung der Wälder als Staubfilter schon Bescheid weiß, so wenig ist anderseits bekannt über die spezifische Wirkung der reinen und aromatischen Waldluft auf den Menschen, da noch nicht einmal der Chemismus der typischen Waldluftkomponenten, der verschiedenen Aromastoffe, quantitativ bekannt ist. Dagegen werden in der Sowjetunion allen Ernstes statistische Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf die Langlebigkeit der Menschen ausgeführt.

3. Der Energiehaushalt des Waldes und die Frage der klimatischen Fernwirkung

In der Energie- und Wärmehaushaltsforschung geht man zurück auf den im Jahre 1842 von Julius Robert Mayer veröffentlichten genialen Lehrsatz von der Erhaltung der Energie und prüft grundsätzlich und quantitativ, welche Rolle dem Wald (und anderen Bodendecken) im Energieaustausch zwischen Kosmos, Atmosphäre und Erdboden zukommt, indem man messend und rechnend verfolgt, wieviel Energie der betrachtete Bereich in einer

bestimmten Zeit vereinnahmt und wieviel, in welchen Formen und auf welchen Wegen er den Energiegewinn wieder verausgabt. Diese Methode zeigt, wenn man die Energiebilanz des Waldes mit derjenigen anderer Vegetationsformen oder des unbewachsenen Bodens vergleicht, nicht nur die spezifische energetische «Produktivität» des Waldes, sondern ist auch geeignet, den quantitativen Einfluß des Waldes auf das Klima der Umgebung kennenzulernen. Darüberhinaus vermittelt die Methode wertvolle Einsichten in den physiologischen Stoffaustausch, der ja vom Energieaustausch bewirkt und begleitet wird (D. M. Gates, 1962). Die erste vollständige Energiebilanz eines Waldes (Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt) wurde von A. Baumgartner (1956) aufgestellt.

Die meisten Autoren formulieren die Energiebilanz einer Oberfläche, eines Niveaus oder eines Mediums in enger Anlehnung an die ursprüngliche Form der Gleichung für die Bodenoberfläche bei F. Albrecht (1930). Er stellte den Energiebetrag aus der Strahlungsbilanz (S) als Primärquelle allen weiteren Teilenergieströmen gegenüber. Für ein belebtes Medium gilt in erster Näherung

$$\underline{S} = \underline{L} + \underline{B} + \underline{V} + P + K$$

wobei im Falle positiven Vorzeichens

L = fühlbarer Wärmestrom aus dem Medium in die Luft

B = Wärmeabgabe an den Boden

V = latenter Wärmestrom in die Luft
(Energieäquivalent der Evapotranspiration)

P = Wärmefluß in die Pflanzenmasse und in die Luft des Bestandesraumes

K = Energieverbrauch für die Photosynthese

Für Spezialfälle werden von manchen Autoren Verfeinerungen angebracht, indem für die Pflanzenatmung, für den Wärmetransport durch den Niederschlag, für die kinetische Energie usw. weitere Symbole eingeführt werden. Wertvolle Monographien über Methoden und Ergebnisse der Energiehaushaltstechnik haben unter anderen D. M. Gates (1962), E. R. Lemon et al. (1963), D. H. Miller (1965) und W. E. Reifsnyder (1967) verfaßt.

An einem Tag innerhalb einer sommerlichen Schönwetterperiode ergab sich nach A. Baumgartner (1967) für einen jungen Fichtenbestand bei München folgender Energiehaushalt: Von der tagsüber verfügbaren Strahlungsenergie von 615 cal/cm² wurden zwei Drittel für die Transpiration verbraucht und ein Drittel an die Luft über dem Kronenraum abgegeben, nur 3 Prozent dienten der Bodenerwärmung und 2 Prozent der Erwärmung der Pflanzen. Baumgartner schließt aus seinen Ergebnissen, daß schon im obersten Drittel des Bestandes zwei Drittel der Strahlung umgesetzt werden, daß der Gipfelraum die Zone maximaler Transpiration und die Lichtkrone die Schicht maximaler Nettoassimilation ist, in der Schattenkrone und im Stammraum dagegen wird ein größerer Stoffverbrauch durch Atmung an-

genommen als durch Photosynthese produziert werden kann. In der Nacht ist ein ganz anderes, viel niedrigeres Niveau der Energieumsetzungen gegeben; der Bestand verliert die tagsüber vereinnahmte Wärme durch Ausstrahlung vollständig, der Boden nahezu auch vollständig, und aus der Luft erfolgt nur ein sehr kleiner Rückfluß an fühlbarer und latenter (Kondensations-) Wärme. Das Bestandesklima muß also jeden Tag praktisch völlig neu aufgebaut werden, weil eine Wärmespeicherung im Bestand nicht möglich ist.

B. L. Dzerdzeevskii (1963) und Yu. L. Rauner (1960, 1966) haben inzwischen auch an Laubwäldern die Energiebilanz untersucht und gefunden, daß der Bestand im Winter fast die gesamte absorbierte Strahlungsenergie (9/10) in Form fühlbarer Wärme an die Luft abgibt. Demgegenüber hat eine Schneedecke die geringe Strahlungsbilanz praktisch nur zur Verdunstung verwendet. Anderseits hat sich ergeben, daß Laubwälder schon im Frühling vor dem Laubausbruch einen ganz beträchtlichen Teil der Strahlungsbilanz für die Evapotranspiration aufbrauchen, in gleichem Maße etwa wie der nasse Waldboden. Im Sommer nach einem Regenfall hat ein Laubwald sogar fast die gesamte Strahlungsenergie in Verdunstung umgesetzt. Bemerkenswert ist an diesen Untersuchungen, daß auch an bewölkten Tagen von den Wäldern rund zweimal soviel Energie zur Freimachung von Wasserdampf aufgewendet wird wie zur Erwärmung der Atmosphäre.

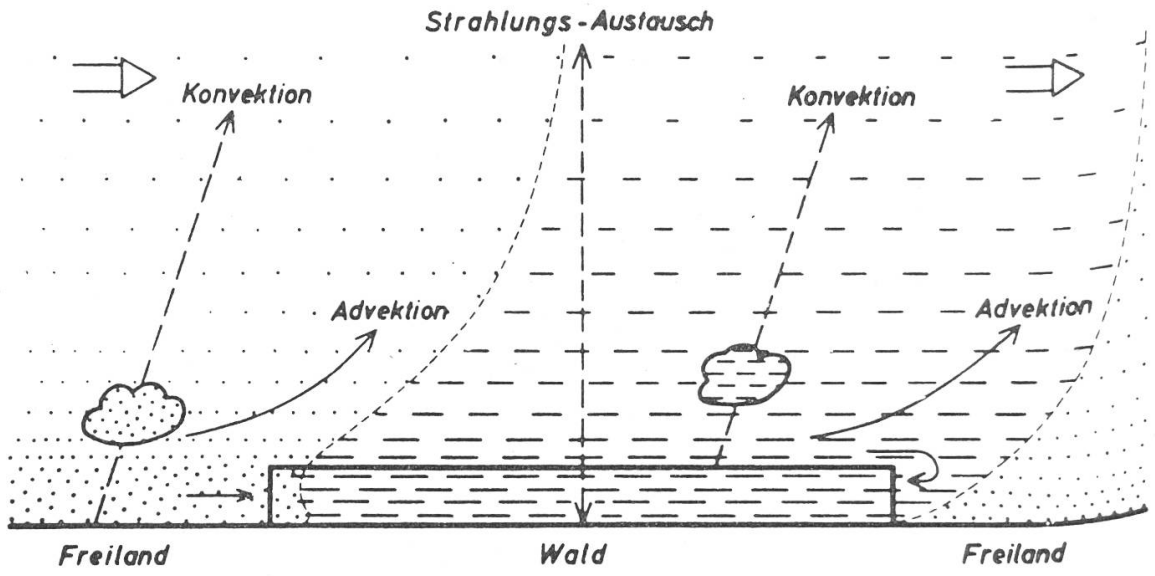
In Trockenwäldern und Hartlaubgehölzen wird die Wärmehaushaltsforschung künftig sehr wahrscheinlich den Nachweis erbringen können, daß dort das Verhältnis V : L = 2 : 1 etwa umgekehrt ist. Auf Grund der Stomatabewegungen kann die Transpiration so stark reguliert werden, daß Pflanzendecken je nach Klima, Jahreszeit und Witterung ihre Funktion wechseln: einmal sind sie hochwirksame Verdunster, das andere Mal bilden sie einen guten Verdunstungsschutz für den Boden. Der stomatäre Widerstand eines Waldes erweist sich in dieser Hinsicht sogar wirksamer als der aerodynamische, windbremsende Einfluß des Waldes (R. Lee, 1967).

Unsere Hauptfrage aber lautet, ob Wälder die Atmosphäre stärker erwärmen und mit Wasserdampf anreichern als andere Vegetationsformen. Diese Frage kann am sichersten durch gleichzeitige Untersuchung des Energiehaushaltes der verschiedenen Pflanzendecken abgeklärt werden. R. Lützke (1966) und St. Tajchman (1967) haben erste Berichte über solche Vergleiche vorgelegt. Von A. Baumgartner (1966) systematisch angeordnete Literaturbeispiele über die sehr verschiedene Verwendung des Wasserangebotes durch verschiedene Vegetationsformen bestätigen die aus Energiehaushaltsbetrachtungen gewonnenen Erkenntnisse. Durchschnittswerte über den jährlichen Energiehaushalt von Wäldern, landwirtschaftlichen Kulturen und des unbewachsenen Bodens können nach A. Baumgartner (1966) in folgender Tabelle angegeben werden (Energiesummen in kcal/cm²/a):

	Anteil an der festen Erdfläche	S_k[1]	*S*	*L*	*V*
Wald	33 %	81	59	18	38
Äcker	24 %	73	53	13	28
Wiesen		70	44		
unbewachsener Boden unproduktive Fläche	43 %	59	35	9	18

[1] S_k = kurzwellige Strahlungsbilanz.

Entscheidend ist, daß Wälder (insbesondere Nadelwälder) infolge ihrer kleineren Albedo die Sonnenstrahlung stärker absorbieren als jede andere Vegetation oder unbebautes Land. Die hohe kurzwellige Strahlungsbilanz von 81 kcal/cm²/a bewirkt eine entsprechend hohe Gesamtstrahlungsbilanz (S). Indem Wälder das Strahlungsangebot am besten verwerten, setzen sie auch entschieden mehr Wasser um als alle anderen Vegetationstypen (nahezu soviel wie offene Wasserflächen; nur Vegetation auf Böden mit oberflächennahem Grundwasserspiegel übertrifft diesen Wasserverbrauch und selbst die Verdunstung offenen Wassers noch). Die Wärmeabgabe der Wälder an die Luft ist nach obiger Zusammenstellung doppelt so groß wie



Schema des Mechanismus der meteorologischen Fernwirkungen spezifischer Bodendecken. In diesem Schema der Fernwirkung der Wälder auf das Klima ist die Konzentration der Waldatmosphäre durch die Dichte der waagrechten Striche, die Konzentration der Freilandluft durch die Dichte der Punkte symbolisiert.

(A. Baumgartner, 1967)

jene vom unbewachsenen Boden und noch um etwa ein Drittel größer als jene von landwirtschaftlichen Kulturen.

Die der Atmosphäre von den Wäldern übergebenen gewaltigen Ströme von Wasserdampf und fühlbarer Wärme werden durch Konvektion und Advektion in vertikaler und horizontaler Richtung weiter verbreitet und gelangen zu einem Großteil in die allgemeine atmosphärische Zirkulation.

Aus all dem ergibt sich, daß der wärmende und befeuchtende Einfluß der Wälder auf die Atmosphäre nicht nur von lokaler, sondern von globaler Bedeutung ist.

Konkrete Beispiele dafür, bis in welche Entfernung vom Bestandesrand sich der Einfluß des Waldes auf die verschiedenen Klimafaktoren in der waldfreien Umgebung nachweisen läßt, bringen insbesondere die Übersichten von G. Flemming (1964) und A. Baumgartner (1967).

Danach gehört neben dem skizzierten Einfluß der Wälder auf die Atmosphäre der Erde auch die *Reflexstrahlung* zu jenen Faktoren, die fast unbeschränkt größte Distanzen überwinden. Infolge ihres geringen Reflexionsvermögens mildern insbesondere Nadelwälder kilometerweit das Lichtklima der Umgebung, und vertikal reicht der Einfluß der niedrigen Waldalbedo, wie Aufnahmen von künstlichen Erdsatelliten zeigen, bis in den Weltraum.

Wenn man absieht von den weitreichenden Einflüssen, die von der Waldkronenoberfläche bezüglich Strahlungs-, Wasserdampf- und fühlbaren Wärmeaustausch auf das Landesklima ausgeübt werden, und nur die Unterschiede zwischen dem Stammraumklima und dem Klima des anschließenden Freilandes ins Auge faßt, ist nach G. Flemming (1964) festzustellen, daß in horizontaler Richtung manche klimatische Waldeinflüsse bis in etwa fünffachem Bestandeshöhenabstand ihre deutlich wahrnehmbare Wirksamkeit verlieren. Dies trifft zu für Globalstrahlung, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und für die meisten Hydrometeore. Allerdings haben die Klimate am Bestandesrand nicht nur den Charakter des Überganges zwischen Wald und Freiland; Strahlung und Wind können in ihrer Wirkung so verstärkt werden, daß das Waldrandklima vielfach extremer als Wald- und Freilandklima ist, so daß es hier zur Ausbildung von Sonderklimaten kommt. Beispielsweise treten an besonnten, südseitigen Bestandesrändern extreme Überhitzungen und rascheste Schneeschmelze auf, und am besonnten und luvseitigen Bestandesrand, besonders in der Zone der Kronenoberfläche, erreicht die Verdunstung extrem große Werte.

Außerordentlich weit reichen jene Waldeinflüsse, die durch die enorme Rauhigkeit der Waldoberfläche bedingt sind. Luft, die über Wälder strömt, wird so stark verwirbelt, daß erst in einem Abstand der 50fachen Baumhöhe bezüglich *Turbulenz* wieder typische Freilandverhältnisse erreicht werden. Schädliche *gasförmige Beimengungen* wie auch Feinstaube werden in ihrer Konzentration durch diese Erhöhung der Turbulenz so stark verdünnt, daß sich leeseits des Waldes sein konzentrationssenkender Einfluß viele Kilo-

meter weit erstreckt. Die eigentliche *Windbremsung* durch den Bestand – die Verringerung der durchschnittlichen Horizontalkomponente der Windgeschwindigkeit – läßt sich, wie die Windschutzforschung mannigfach bewiesen hat, leeseits bis in eine Entfernung von der 20- bis 30fachen Bestandeshöhe verfolgen. Fast ebenso weit (10- bis 20fache Bestandeshöhe) reicht der Waldeinfluß auf die *Verdunstungssenkung*. Wälder können schließlich aus nebelhaltiger Luft so viel zusätzlichen Niederschlag ausfällen, daß leeseits des Bestandes bis in eine Distanz der 10- bis 20fachen Baumhöhen eine Verringerung von *Nebel* und *Nebelniederschlag* zu beobachten ist.

Résumé

L'état actuel de la recherche de l'influence de la forêt sur le climat

Au cours des dernières années, on constate un développement intense de la recherche sur les influences climatiques de la forêt. En particulier, des résultats récents de la météorologie biologique sur le cycle d'échange de la chaleur et de l'eau ont donné une impulsion nouvelle aux questions de l'action bienfaisante des forêts. Les principales influences climatiques de la forêt sur l'entourage sont fonction de la surface des houppiers, où se produisent les transformations d'énergie les plus importantes.

L'influence de la forêt sur le climat du peuplement forestier est bien connue, on ne l'étudie que si elle apporte de nouveaux aspects. Des investigations récentes déduisent à partir des paramètres du peuplement des modèles mathématiques de son climat. Ces résultats ne sont pas seulement de grande importance pour le traitement des forêts et la planification de la production forestière, mais aussi pour l'établissement d'un ordre topique et pour le régime des eaux de la forêt.

Une autre branche très active de la météorologie forestière analyse les divers climats des stations forestières et leur action sur les plantes forestières, de même que les rapports entre le climat forestier général et le climat qui résulte de la topographie. Les différences entre les régions boisées et non boisées peuvent être aussi grandes que celles entre les versants ensoleillés et les versants à l'ombre. Les grands écarts microclimatiques dûs au relief, surtout en montagne, peuvent avoir une action décisive sur des essais d'afforestation. L'utilisation de modèles de climat devient toujours plus importante dans ce domaine de recherche.

Dans les questions hydrométéorologiques du climat forestier, on tient compte notamment de l'augmentation de la pluviosité du fait des précipitations supplémentaires dues au brouillard, ainsi que des modifications chimiques de l'eau d'interception produites par filtration et lessivage dans la masse végétale.

Les forêts atténuent nettement le bruit par absorption et réflexion du son ; les poussières grossières s'y déposent davantage et les concentrations de gaz nocifs sont diluées du fait de l'augmentation de la turbulence.

Des mesures comparées du régime énergétique ont confirmé et fixé quantativement la relative grande évapotranspiration des forêts, ce qui avait été auparavant déjà établi par des mesures de l'écoulement des eaux. Les forêts livrent aussi davantage de chaleur perceptible à l'atmosphère que toute autre forme de végétation. L'influence spécifique de la forêt sur les facteurs de climat et sa portée en terrain libre sont exposés en détail. *Traduction : Dr. O. Lenz*

Literaturverzeichnis

A

Albrecht, F., 1930: Über den Zusammenhang zwischen täglichem Temperaturgang und Strahlungshaushalt. Gerl. Beitr. z. Geophysik *25*, 1–35. – *Attiwill, P. M.*, 1966: The chemical composition of rainwater in relation to cycling of nutrients in mature Eucalyptus forest. Plant and Soil *24*, 390–406. – *Aulitzky, H.*, 1961: Die Bodentemperatur in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Zirben-Lärchenwald. Mitt. Forstl. Bundes-Vers'anst. Mariabrunn *59*, 153–208. – *Aulitzky, H.*, 1963: Bioklima und Hochlagenaufforstung in der subalpinen Stufe der Inneralpen. Schweiz. Z. Forstwesen *114*, 1–25. – *Aulitzky, H.*, 1965: Waldbau auf bioklimatischer Grundlage in der subalpinen Stufe der Innenalpen. Cbl. f. d. ges. Forstwesen *82*, 217–245.

B

Baumgartner, A., 1956: Untersuchungen über den Wärme- und Wasserhaushalt eines jungen Waldes. Berichte Dtsch. Wetterdienst *5*, Nr. 28, Bad Kissingen. – *Baumgartner, A.*, 1966: Energetic bases for differential vaporization from forest and agricultural lands. In: Forest Hydrology, Nat. Sci. Foundation Advanced Sci. Seminar, Pennsylvania State Univ. 1965, 381–389. – *Baumgartner, A.*, 1967: Entwicklungslinien der forstlichen Meteorologie. Forstwiss. Cbl. *86*, 156–175, 201–220. – *Bruckmayer, F.*, und *Lang, Judith*, 1966: Ruheschutzplanung im Städtebau. Wohnbauforschg. in Österreich, Mitt. d. Forsch'ges. f. d. Wohnungsbau im Österr. Innenarchitekten-Verein Wien *11*, 134–141.

C

Caborn, J. M., 1965: Shelterbelts and Windbreaks. Faber & Faber Ltd. London, pp. 288. – *Cel'niker, Yu. L.* (Herausgeber), 1967: (Das Lichtregime, Photosynthese und Produktivität im Wald.) (In russ. Spr.) Izdatel'stvo Nauka Mosk., 275 S. – *Cooper, R. W.*, 1965: Wind movement in Pine stands. Res. Pap. Ga. For. Res. Comm. No. 33, 4 pp.

D

Denaeyer-de Smet, S., 1966: (Jahresbilanz der Mineralstoffe des Niederschlagswassers im gemischten Laubwald von Blaimont, Virelles-Chimay.) (In frz. Spr.) Bull. Soc. Bot. Belg, *99*, 345–375. – *Dordick, I. L.*, and *Thuronyi, G.*, 1957: Selective annotated bibliography on climate of the forest. Meteorol. Abstracts and Bibliogr. *8*, 515–539. – *Dürk, K. P.*, 1965: Die hygienischen Funktionen des Waldes und ihre soziologischen, ökonomischen und forstpolitischen Auswirkungen, mit besonderer Berücksichtigung der Bedeutung des Waldes in den Erholungsgebieten. Mitt. Inst. Forst- u. Holzwirtsch'politik Univ. Freiburg i. B., XVI und 204 S. – *Dzerdzeevskii, B. L.*, 1963: Study of the heat balance of the forest. Silv. Fenn. *113*, 17 pp.

E

Ebermayer, E., 1873: Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden. Berlin. – *Ellenberg, H.*, 1966: Leben und Kampf an den Baumgrenzen der Erde. Naturwiss. Rundschau *19*, 133–139. – *Embleton, T. F. W.*, 1963: Sound propagation in

homogeneous deciduous and evergreen trees. J. Austral. Sci. of Atmosphere *35*, 1109—1125. — *Ermich, K., Feliksik, E.,* und *Grabowski, A.,* 1966: (Mikroklimatische Verhältnisse in Pflanzengesellschaften nahe der oberen Waldgrenze des polnischen Tatragebirges.) (In poln. Spr.) Zeszyty Naukowe Wyzszej Szkoly Rolniczej w Krakowie, Nr. 30, 39—67. — *Evans, G. C.,* 1966: Temperature gradients in a tropical rain forest. J. Ecol. *54*, 20—21.

F

Federer, C. A., and *Tanner, C. B.,* 1966: Spectral distribution of light in the forest. Ecology *47*, 555—560. — *Flemming, G.,* 1964: Das Klima an Waldbestandsrändern. Abh. Meteorol. u. Hydrol. Dienst DDR Nr. 71, *9*, 76 S. Berlin, Akademie-Verlag.

G

Galoux, A., 1967: (Der Mechanismus der nächtlichen Abkühlung der Luft innerhalb und außerhalb des Waldes.) (In frz. Spr.) Bull. Soc. For. Belg. *74*, 109—116. — *Gates, D. M.,* 1962: Energy Exchange in the Biosphere. Harper & Row Biological Monographs, 151 pp., New York. — *Geiger, R.,* 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 646 S. — *Grebe, C.,* 1852: Gebirgskunde, Bodenkunde und Klimalehre in ihrer Anwendung auf Forstwirtschaft. Wien. — *Grenves, T.,* 1965: The buffering effect of trees against fluctuating air temperature. Austral. Forestry Res. *29*, 175—180. — *Grunow, J.,* 1955: Der Niederschlag im Bergwald. Niederschlagszurückhaltung und Nebelzuschlag. Forstwiss. Cbl. *74*, 21—36. — *Grunow, J.,* 1964: Weltweite Messungen des Nebelniederschlags nach der Hohenpeißenberger Methode. Intern. Congr. UGGI 1963, Publ. AIHS No. 65, 324—342. — *Guyot, G.,* 1963: Les brise-vent, modification des microclimats et amélioration de la production agricole. In: L'Eau et la Production Végétale, INRA, Paris, 243—302.

H

Hampel, R., und Mitarbeiter, 1961—63: Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe zum Zwecke der Hochlagenaufforstung. Teil I und II. Mitt. Forstl. Bundes-Versanst. Mariabrunn *59* und *60*, 887 S. — *Hennebo, D.,* 1955: Staubfilterung durch Grünanlagen. Berlin, VEB Verlag Technik, 79 S. — *Heß, W.,* und *Kürsteiner, E.,* 1962: Grundsätzliches zur Dämmung des Verkehrslärms mit Hilfe von Grünpflanzungen. In: Wohltätiger Wald, Neue Aufgaben unserer Wälder, Schweiz. Forstverein, Zürich, Bühler Buchdruck, 56—64. — *Horak, J.,* 1966: Beitrag zur Erforschung der mikroklimatischen Verhältnisse von «Pavlovské kopce» (Pollauer Berge) in Südmähren. Sborn. Vysoké Skoly Zeméd. Brno (rada C) *35*, 195—223. — *Hughes, J. F.,* 1949—50: The influence of forests on climate and water supply. Forestry Abstracts *11*, 145—153, 283—292.

I

Intribus, R., 1965: Microclimatic conditions in forest stands of the high Tatra. Com. Inst. Forest. Cechosl. 1965, 35—46. — *Izotov, V. F.,* 1965: (Der Einfluß der versumpften Wälder Nordrußlands auf die Lufttemperatur.) (In russ. Spr.) Lesn. Hoz. *18*, 7—11.

J

Jackson, M. T., and *Newman, J. E.,* 1967: Indices for expressing differences in local climates due to forest cover and topographic differences. For. Sci *13*, 60—71. — *Jeffrey, W. W.,* 1963: Soil temperature measurements in forests of northwestern Canada. Ecology *44*, 151—153.

K

Kämpfer, M., 1967: Lärmdämpfung durch raumplanerische Maßnahmen, Grünanlagen und Wald. Bibliographie Nr. 6 der Bundesanstalt für Vegetationskunde, Naturschutz und Landschaftspflege Bad Godesberg, Mai 1967, 10 S. — *Kerfoot, O.,* 1968: Mist precipitation on vegetation. Forestry Abstracts *29*, 8—20. — *Kittredge, J.,* 1962: The influence of the forest

on the weather and other environmental factors. In: Forest Influences, FAO Studies No. 15, Rom, 81–137. — *Knoch, K.*, 1963: Die Landesklimaaufnahme. Wesen und Methodik. Berichte Dtsch. Wetterdienst Nr. 85, *12*, 1–64. — *Kuhlewind, C., Bringmann, K.*, und *Kaiser, H.*, 1955: Richtlinien für Windschutz. I. Teil. Agrarmeteorologische und landwirtschaftliche Grundlagen. Frankfurt a. M., Dtsch. Landwirtsch'-Ges., 72 S.

L

Lee, R., 1967: The hydrologic importance of transpiration control by stomata. Water Resources Research *3*, 737–752. — *Lee, R.*, and *Baumgartner, A.*, 1966: The topography and insolation climate of a mountainous forest area. Forest Sci. *12*, Nr. 3, 258–267. — *Leikola, M.*, 1967: (Beobachtungen über die Windverhältnisse in einem bewirtschafteten Föhrenbestand.) (In finn. Spr.) Silva Fenn. *1*, 57–72. — *Lemon, E. R.*, et al., 1963: The energy budget at the earth's surface. Proc. Res. Rep. No. 71–72. US Agric. Research Service Washington D. C. — *Logan, K. T.*, and *Peterson, E. B.*, 1964: A method of measuring and describing light patterns beneath the forest canopy. Can. Dept. Forestry Publ. No. 1073, 26 pp. — *Loomis, W. E.*, 1965: Absorption of radiant energy by leaves. Ecology *46*, 14–17. — *Lützke, R.*, 1966: Vergleichende Energieumsatzmessungen im Walde und auf einer Wiese. Archiv f. Forstwesen *15*, 995–1015.

M

Meister, F. I., und *Ruhrberg, W.*, 1959: Die Dämmung von Verkehrsgeräuschen durch Grünanlagen. VDI-Ztschr. *101*, Nr. 13, 527–535. — *Miller, D. H.*, 1965: The heat and water budget of the earth's surface. Advances in Geophysics *11*, New York, Academic Press, 175 bis 302. — *Molcanov, A. A., Smirnov, V. V., Protopopov, V. V., Naryskin, M. A., Birjukov, N. S.*, and *Idzon, P. F.*, 1961: (Forstklimatologie und -hydrologie.) (In russ. Spr.) Tr. Lab. Lesoved., Akad. Nauk SSSR *3*, 268 S. — *Munn, R. E.*, 1964: Forest meteorology. A survey of the literature. Canada Dept. of Transport, Meteorol. Branch, Toronto, Circ. 4029, 11 pp. — *Munn, R. E.*, 1966: Descriptive Micrometeorology. (Chapter 17: Forest Meteorology). Advances in Geophysics, Supplement 1, New York, Academic Press, XIV + 245 pp. — *Myczkowski, St.*, 1964: (Struktur und Ökologie der Fichtenwald-Gesellschaft *Piceetum tatricum* an der Obergrenze ihrer Verbreitung . . .) (In poln. Spr.) Ochrony Przyrody R. *30*, 51–105.

N

Nägeli, W., 1965: Über die Windverhältnisse im Bereich gestaffelter Windschutzstreifen. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers'wes. *41*, 219–300.

O

Obaton, F., 1949: Le pouvoir réflecteur des conifères pour le rayonnement infrarouge. Comptes Rendus Acad. des Sci. Paris *228*, 939–941.

P

Poppendick, H. F., 1949: Investigation of velocity and temperature profiles in air layers within and above trees and brush. Univ. of California, Dept. of Engin., Los Angeles. — *Pozdnyakov, L. K.*, 1967: The role of rainfall penetrating the leaf canopy. (Trans. fr. Russ.) Nat. Lending Library Sci. Tech., Boston Spa, Yorks., 7 pp.

R

Rauner, Yu. L., 1960: (Die Wärmebilanz eines Waldes.) (In russ. Spr.) Izv. Akad. Nauk UdSSR, Ser. Geogr. Nr. 1, 49–59. — *Rauner, Yu. L.*, 1966: Methodik und einige Ergebnisse der experimentellen Erforschung des Wärmehaushaltes der Waldbestände. Angew. Meteorol. *5*, 157–165. — *Reifsnyder, W. E.*, 1955: Wind profiles in a small isolated forest stand. Forest Sci. *1*, No. 4, 289–297. — *Reifsnyder, W. E.*, 1967: Forest meteorology: the

forest energy balance. In: Internat. Review of Forestry Research, Vol. 2, New York, Academic Press, 127–179. – *Reifsnyder, W. E.,* and *Lull, H. W.,* 1965: Radiant Energy in Relation to Forests. US Dept. of Agriculture, Forest Service, Tech. Bull. No. 1344, Washington D. C., 111 pp. – *Robinson, T. L.,* 1966: Effects of canopy density and slope exposure on the subcanopy microenvironment of a northern hardwood forest. Amer. Midl. Nat. *75,* 339–346.

S

Saeki, T., 1963: Light relations in plant communities. In: L. T. Evans, Environmental Control of Plant Growth, New York, Academic Press. 79–94.

T

Tajchman, St., 1967: Energie- und Wasserhaushalt verschiedener Pflanzenbestände bei München. Münchener Universitäts-Schriften, Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Nr. 12, VII + 94 S. – *Tranquillini, W.,* 1966: Über das Leben der Bäume unter den Grenzbedingungen der Kampfzone. Allg. Forstzeitg. (Wien) *77,* 127–132. – *Turner, H.,* 1966: Die globale Hangbestrahlung als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe. Mitt. schweiz. Anst. forstl. Vers'wes. *42,* 109–168.

V

Van der Linde, R. J., 1966: (Wald und Klima. In: Die Rolle des Waldes in den Niederlanden.) (In holl. Spr.) Ned. Bosb. Tijdschr. *38,* 134–185. – *Van Eimern, J.,* und Mitarbeiter, 1964: Windbreaks and Shelterbelts. Report of a working group of the Comm. for Agric. Meteorol., World Meteorol. Organiz., Geneva, Tech. Note No. 59, 188 pp. – *Vezina, P. E.,* and *Boulter, D. W. K.,* 1966: The spectral composition of near ultra violet and visible radiation beneath forest canopies. Canada J. Bot. *44,* 1267–1284.

Z

Zenker, H., 1954: Waldeinfluß auf Kondensationskerne und Lufthygiene. Z. Meteorol. *8,* 150–159.