

---

## Das Bestandesklima niederbergischer Buchenwälder

G. Aschan & R. Lösch

Mit 9 Abbildungen und 1 Tabelle

### Abstract

The vertical microclimate profile in a Bergisches Land, Western Germany, beech forest (Luzulo-Fagetum) was measured throughout the seasons. Global radiation (maximal daily total amounts above canopy: 30 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) and photon flux density (60 mol photons m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) were absorbed by the forest canopy by 81 % and 95 %, respectively. Highest radiation penetration into the forest occurred just before frondescence of the trees. Air temperatures (March to November) ranged from -2 to +36 °C, soil temperatures from +4 to +22 °C. Typical temperature gradients from ground level to the canopy surface (± 30 m above ground) amounted to 3-4 K. Air vapour saturation deficit outside the forest exceeded rather seldom 2 kPa; inside the stand it was diminished about more than one third. This resulted in part from very low air turbulences below the tree crowns. Compared with outside conditions, air movement between the stems was reduced by 80-90 % during the vegetation period and by 40-50 % when the beech trees were leafless. In general, the stand microclimate can be taken as typical for forests of the Bergisches Land and conforms by and large to data of similar investigations in Central European deciduous forests. It is emphasized that the prevailing habitat climate favours well developed and vital deciduous forests in this colline to submontane mountain area.

### Zusammenfassung

In einem Buchenwald (Luzulo-Fagetum) des Bergischen Landes (Westdeutschland) wurde das vertikale Profil des Bestandesmikroklimas im Jahreslauf erfaßt. Globalstrahlung (maximale Tagessummen oberhalb des Bestandes: 30 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) und Photonenflußdichte (60 mol Photonen m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) wurden zu 81 % bzw. 95% durch das Kronendach des Waldes absorbiert. Der höchste Strahlungseinfall in den Bestand trat kurz vor dem Laubaustrieb der Bäume auf. Die Lufttemperaturen variierten im Zeitraum März bis November zwischen -2 und +36 °C, die Bodentemperaturen zwischen +4 und +22 °C. Die typischen Temperaturgradienten zwischen den bodennahen Luftschichten und der Kronendachoberfläche (± 30 m über Grund) beliefen sich auf 3-4 K. Das Sättigungsdefizit der Luft außerhalb des Waldes überstieg relativ selten 2 kPa, innerhalb des Bestandes wurde es um mehr als ein Drittel verringert. Dies resultierte zum Teil aus den sehr geringen Luftturbulenzen unter den Baumkronen. Im Vergleich zu den Außenbedingungen wurden die Luftbewegungen zwischen den Stämmen während der Vegetationsperiode um 80-90 % und während der blattlosen Zeit um 40-50 % reduziert. Das Bestandesmikroklima kann als typisch für die Wälder des Bergischen Landes gelten und wird im großen und ganzen durch einschlägige Daten aus ähnlichen Erhebungen in mitteleuropäischen Fallaubwäldern bestätigt. Es ist hervorzuheben, daß die vorherrschenden klimatischen Bedingungen gut entwickelte und vitale sommergrüne Laubwälder in diesem collinen bis submontanen Mittelgebirgsraum fördern.

## 1. Einleitung

Natürliche bzw. naturnahe Buchenwälder stellen aufgrund der großen ökologischen Amplitude und Konkurrenzkraft von *Fagus sylvatica* das wichtigste europäische Fallaub-Biom dar (WALTER & BRECKLE 1986, POTT 1995, ELLENBERG 1996). Die vorliegenden ökosystemaren Untersuchungen des Buchenwaldes beschränken sich bisher weitgehend auf den norddeutschen Raum (Solling; ELLENBERG 1971, ELLENBERG ET AL. 1986; Lüneburger Heide: LEUSCHNER 1994; Göttinger Wald: EHRHARDT 1988, BEESE ET AL. 1991).

Die Bestandesmeteorologie eines norddeutschen Buchenwaldes wurde von EBER (1972) und KIESE (1972) im Rahmen des Solling-Projektes detailliert behandelt. VAN EIMERN (1984/1986), VAN EIMERN & RIEDINGER (1986) und EHRHARDT (1988) untersuchten die Strahlungsverhältnisse und das Temperaturregime in einem Buchenhochwald bei Göttingen.

Die niederschlagsreiche Region des Bergischen Landes kann als ein ursprünglich einheitlich strukturiertes Buchenwaldgebiet, repräsentativ für die Mittelgebirgssituation im subatlantischen Raum Westdeutschlands, eingestuft werden. Vorherrschend ist hier der bodensaure Hainsimsen-Buchenwald in seiner typischen Ausprägung (LÖLF 1978). In der aktuell gegebenen Kulturlandschaft hat sich diese Waldformation besonders auf den steilen Hängen der zahlreichen Kerbtäler erhalten, die charakteristisch sind für das Bergische Land. Diese Buchenwälder sind bis auf einzelne Studien (WEIHE 1976, KUTTLER 1984/1987) bestandesklimatologisch und ökophysiologisch noch nicht untersucht. In einem für das Gebiet repräsentativen Kerbtal, dem Weinsberger Bachtal bei Solingen, wurden deshalb neben der grundlegenden floristischen und phytosoziologischen Kartierung und edaphisch-ökologischen Charakterisierung des Gebietes (HEIBEL ET AL. 1995, LÖSCH ET AL. 1997/98) Untersuchungen zu den ökosystemaren Energie- und Stoffflüssen durchgeführt (ASCHAN 1998; ASCHAN ET AL. 1996), von denen im vorliegenden Beitrag Befunde zur Bestandesstruktur und zur mikroklimatischen Situation des die Talhänge dominierenden Buchenwaldes vorgestellt werden.

## 2. Standortbeschreibung

### 2.1 Lage des Untersuchungsgebietes

Die diesem Beitrag zugrundeliegenden Untersuchungen wurden im Rahmen einer umfassenden ökosystemaren Studie eines typischen niederbergischen Buchenhochwaldes im Bereich des nur 8 km vom *Burgholz* entfernten und somit unter weitgehend identischen klimatischen Bedingungen exponierten Weinsberger Bachtals (Solingen) durchgeführt. Aufgrund der für nordwesteuropäische Buchenwälder

der charakteristischen Bestandesstruktur (vg. ASCHAN 1998) und des übereinstimmenden Makroklimas werden diese Befunde als durchaus übertragbar auf die Buchenbestände des *Burgholzes* angesehen und dahingehend interpretiert.

Das Weinsberger Bachtal (HEIBEL ET AL. 1995) ist ein landschaftlich reizvolles und vielseitig strukturiertes Bachtalökosystem am südlichen Stadtrand von Solingen/ NRW, Deutschland (7°3'O, 51°9'N). Das Gebiet kann naturräumlich den Mittelbergischen Hochflächen zugeordnet werden, die als Teil des variskischen Rumpfgebirges zu der Großlandschaft „Süderbergland“ (Bergisch-Sauerländisches Gebirge) gehören und im Westen an den Naturraum Niederrheinische Bucht grenzen.

Der in einer 30 bis 80 m breiten Talaue naturnah mäandrierende Weinsberger Bach, ein Zufluß der Wupper, ist umgeben von Wiesen und Feuchtgrünland (Molinio-Arrhenateretea), die von Laubmischwäldern (Luzulo-Fagetum, Fago-Quercetum) auf 20-30° geneigten Talhängen umsäumt werden. Die an die oberen Hangkanten angrenzenden Terrassenhochflächen erheben sich 30 bis 40 m über die 70 bis 115 m NN hoch liegenden Talsohle. Der Weinsberger Bach ist Teil des dichten, vorzugsweise in Ost-West-Richtung verlaufenden Gewässernetzes, welches das niederschlagsreiche Bergische Höhenland, dem Reliefabfall folgend, in die Niederrheinebene entwässert (ASCHAN ET AL. 1996).

## 2.2 Großklima

Das Untersuchungsgebiet liegt im Übergangsbereich zwischen dem nordwestdeutschen Klimabereich und dem mitteldeutschen Berg- und Hügellandklima. Dabei überwiegen die aus Westen kommenden maritim geprägten Klimaeinflüsse, die sich in häufigen Vorstößen feuchter Meeresluftmassen äußern.

Das von der Niederrheinebene von Westen nach Osten um etwa 200-300 Höhenmeter ansteigende Relief bewirkt bei vorherrschend westlichen bis südwestlichen Winden (MURL 1989) den Stau der Wolkenmassen am Reliefhindernis des Bergischen Landes. Der Aufstieg dieser maritimen Luftmassen in kühlere Luftschichten und das dadurch verursachte Abregnen führt an der sog. „Bergischen Treppe“ zu hohen mittleren Jahresniederschlägen von 1000-1200 mm a<sup>-1</sup> im Vergleich zur niederschlagsärmeren Niederrheinebene mit 600-700 mm a<sup>-1</sup> (SCHÜTTLER 1952). Die oftmals starke Bewölkung bewirkt eine geringe mittlere Sonnenscheindauer von rund 1400 h a<sup>-1</sup> (MURL 1989).

Das ausgeglichene, atlantische Klima des Untersuchungsgebietes ist durch kühl-gemäßigte Sommer und milde Winter mit einer langjährigen Jahresmitteltemperatur von 8,6 °C (s. Klimadiagramm, Abb. 1) sowie eine ganzjährig etwa gleichmäßige Niederschlagsverteilung mit einem leichten Maximum im August charakterisiert.

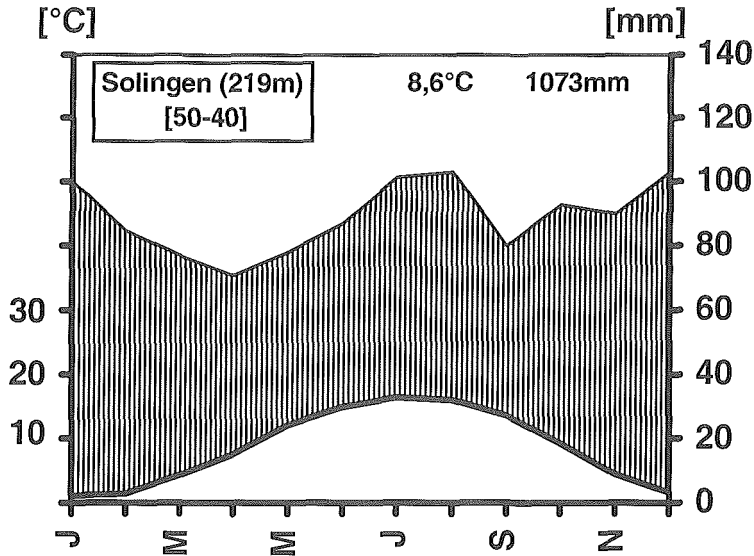


Abb. 1: Klimadiagramm von Solingen, erstellt nach Angaben in WALTER & LIETH (1960), mit Angabe der Jahressumme der Niederschläge (oben rechts), des Jahresmittels der Lufttemperatur (oben Mitte) und der Zahl der Beobachtungsjahre (in eckigen Klammern)

### 2.3 Vegetation

Die Vegetation des gesamten Untersuchungsgebietes ist in HEIBEL ET AL. (1995) detailliert beschrieben. Die Walduntersuchungsfläche ist mit dem für die bodensauren Standorte des Bergischen Landes typischen Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) bestockt (LÖLF 1978). Diese zum Verband der Rotbuchenwälder (Fagion sylvaticae) gehörende Waldgesellschaft bildet großräumig die natürliche Vegetation der submontanen und montanen Stufe Zentraleuropas. In der Baumschicht des Waldes im Weinsberger Bachtal dominiert, neben der vereinzelt auftretenden Traubeneiche (*Quercus petraea* (MATT.)LIEBL.) die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). Seltener treten Hainbuche (*Carpinus betulus* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.) hinzu. Die Strauchschicht wird vom Jungwuchs der bestandsbildenden Baumarten und teilweise flächendeckenden Vorkommen der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.) gebildet. Am lichten Waldrand kommen Haselnuß (*Corylus avellana* L.), Schlehe (*Prunus spinosa* L.), Weißdorn (*Crataegus monogyna* JACQ.) und Schwarzer Holunder (*Sambucus nigra* L.) vor. Die artenarme Krautschicht setzt sich aus mäßig anspruchsvollen Arten wie beispielsweise Weiße Hainsimse (*Luzula luzuloides* (LAM.)D. & WILLM.), Drahtschmiele (*Avenella flexuosa* (L.)PARL.), Gewöhnlicher Wurmfarne (*Dryopteris filix-mas* (L.)SCHOTT), Efeu (*Hedera helix* L.), Brombeere (*Rubus fruticosus* L. agg.) und Himbeere (*Rubus idaeus* L.) zusammen.

## 2.4 Material & Methodik

Die der vorliegenden Studie zugrundeliegenden Klimadaten wurden mittels drei im Buchenhochwald der Talhänge des Weinsberger Bachtals installierten mikroklimatischen Meßstationen erhoben. Der für die Messungen ausgewählte Platz repräsentiert nach Bestandsaufbau und -höhe die gesamte Buchenwaldfläche. Dabei muß allerdings der punktuelle Charakter der Messungen bei der Frage der Repräsentanz der Daten in Betracht gezogen werden, da kleine Unterschiede in der Beschaffenheit des Kronendachs durchaus zu veränderten Ergebnissen führen können (vg. EHRHARDT 1988) Da der Schwerpunkt dieser Untersuchungen jedoch auf den vertikalen Veränderungen und saisonalen Verläufen der wesentlichen mikroklimatischen Parameter lag, wurden die horizontalen Veränderungen lediglich anhand einiger repräsentativer Transekte der bodennahen Strahlungsverhältnisse studiert. Gemäß einschlägiger Studien kann davon ausgegangen werden, daß bei sorgfältiger Standortauswahl die punktuell gewonnenen Daten mittlere Verhältnisse des Gesamtbestandes charakterisieren (vgl. KIESE 1972).

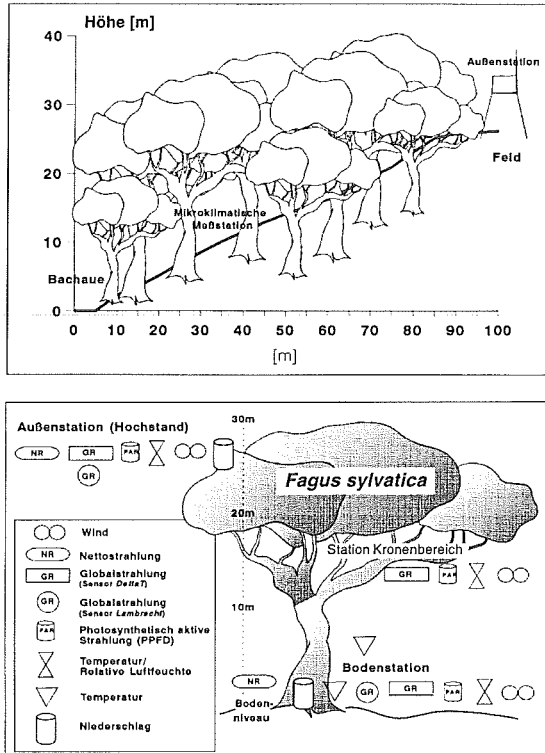


Abb. 2: Meßeinrichtungen im Buchenwald (unten) mit maßstabsgetreuem Hangprofil (oben).

Die Anordnung der Meßeinrichtungen im Buchenhochwald geht aus Abb. 2 hervor. Die erste Station wurde auf halber Höhe des mit Buchenhochwald bestandenen süd-exponierten Talhanges an einem im Boden verankerten zwei Meter hohen Mast und auf den angrenzenden Bodenflächen aufgebaut. Die zweite Station befand sich im darüber liegenden unteren Kronenraum einer etwa 28 m hohen Rotbuche in einer Höhe von 14 m. Die dritte Station wurde an einem am Waldsaum gelegenen Hochstand so installiert, daß die Lage der Sensoren in etwa der Höhe des oberen Kronenraumes des Bestandes entsprach. Die einzelnen Stationen waren zur Erfassung der aufgeführten Mikroklima-Parameter mit folgenden Sensoren ausgestattet: Boden-, Lufttemperatur (Thermoelemente: HERAEUS, D; Thermistoren: GRANT, UK), Relative Luftfeuchte (HMP 31/35: VAISALA, Finnland), Photosynthetisch wirksame Photonenfluß-Dichte = PPF (Quantum-Sensor SKP 210/215: SKYE, UK & LI-190: LICOR, USA), Globalstrahlung (Solarimeter TSM: DELTA-T, UK; Sternpyranometer Typ 8101: SCHENK, A; Pyranometer SKS 1110: SKYE, UK), Nettostrahlung (Strahlungsbilanzmesser Typ 8110: SCHENK, A & Typ 1612: LAMBRECHT, D), Windgeschwindigkeit (Schalenkreuzanemometer Typ 1442/14572: LAMBRECHT, D). Die Ausgangsdaten der klimatischen Sensoren wurden mit entsprechend konfigurierten Data-Loggern (Typ *Squirrel* 1200/1250, GRANT INSTR., UK) minütlich erfaßt und als 15min-Mittelwerte registriert. Der Niederschlag wurde in- und außerhalb des Bestandes mit Kleintotalisatoren erfaßt. Die Anordnung der Meßeinrichtungen im Buchenhochwald geht aus Abb. 2 hervor.

Zur mobilen Erfassung der horizontalen Strahlungstransekte kam ein sog. Canopy Analysis System (*SunScan*<sup>TM</sup>, DeltaT, UK) zum Einsatz. Die Unterbrechungen der von 1993 bis 1995 durchgeführten mikro- und mesoklimatischen Meßreihen, die durch den Ausfall oder die Wartung einzelner Sensoren und die Durchführung von Auslandsmeßkampagnen bedingt waren, wurden, soweit möglich und sinnvoll, durch die mesoklimatischen Daten der nahegelegenen meteorologischen Meßstation des Deutschen Wetterdienstes ergänzt (Solingen, Klimast.-Kennziffer 01170). Für die Komplettierung fehlender Strahlungsdaten wurden Korrelationen mit den für die gesamte Vegetationsperiode verfügbaren Werten der permanenten Klimameßstation der Abt. Geobotanik der H. Heine-Universität im 20 km entfernten Düsseldorf erarbeitet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Strahlungshaushalt

In Abb. 3 ist der Jahresgang (1994) der Globalstrahlung, der Nettostrahlung und der PPF anhand der über dem Bestand und im Bestand in 1,5m Höhe erfaßten täglichen Strahlungssummen dargestellt. Die saisonalen Verläufe der oberhalb des Bestandes erfaßten Strahlungskomponenten zeigen den für Standorte außerhalb der

Tropen und Subtropen typischen, eingipfligen Verlauf mit einem sommerlichen Maximum bei Sonnenhöchststand und einem winterlichen Minimum. Die starke Variabilität der einzelnen Tageswerte resultiert aus den sich ständig verändernden Bewölkungsverhältnissen. So lassen sich besonders im Hochsommer sonnige Perioden mit hohen täglichen Strahlungssummen (Globalstrahlung: 20-30 MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>, PPFD: 40-60 mol m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>) von bedeckten Tagen mit niedrigen Einstrahlungsintensitäten differenzieren. Die gemäß der geographischen Lage und dem jeweiligen Sonnenstand maximal mögliche Globalstrahlung wird aufgrund des Wolkenreichtums des Bergischen Landes nur an wenigen, über das Jahr verteilten Strahlungstagen annähernd erreicht. Der Verlauf der Globalstrahlung über dem Bestand entspricht weitgehend den Jahresgängen der Nettostrahlung und der PPFD, was auf einem annähernd konstanten Verhältnis der Strahlungskomponenten beruht.

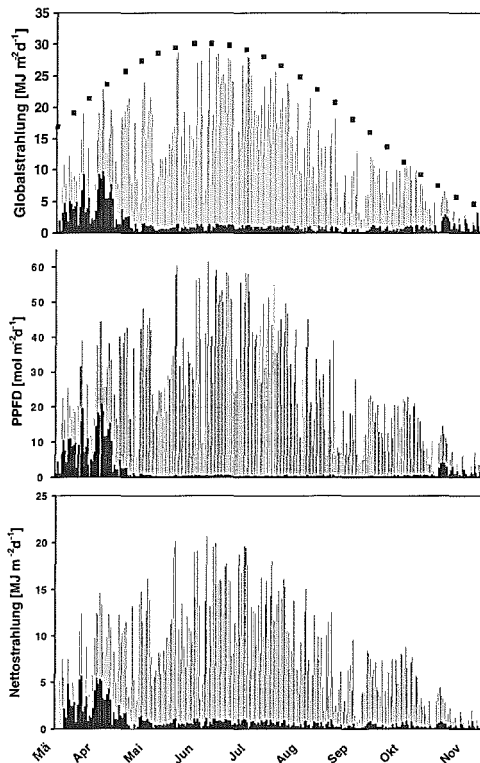


Abb. 3: 1994 bestimmte Jahresgänge von Globalstrahlung (*oben*, mit maximal erreichbaren Tagessummen [*Quadrate*]), PPFD (*Mitte*) und Nettostrahlung (*unten*) ober- (*helle Säulen*) und innerhalb (*unterer Stammraum in 1,5 m Höhe; dunkle Säulen*) des Buchenwaldbestandes im Weinsberger Bachtal/Solingen.

Die mittlere Strahlungskompartimentierung während der belaubten Phase ist in Abb. 4 wiedergegeben. Die von einem Pflanzenbestand absorbierte Strahlung läßt sich durch die Differenz aus einfallender und an der Krone reflektierter Strahlung beschreiben. Der vom Boden in die Kronenschicht zurückreflektierte und dort absorbierte Strahlungsfluß wurde aufgrund seines geringen Anteils vernachlässigt.

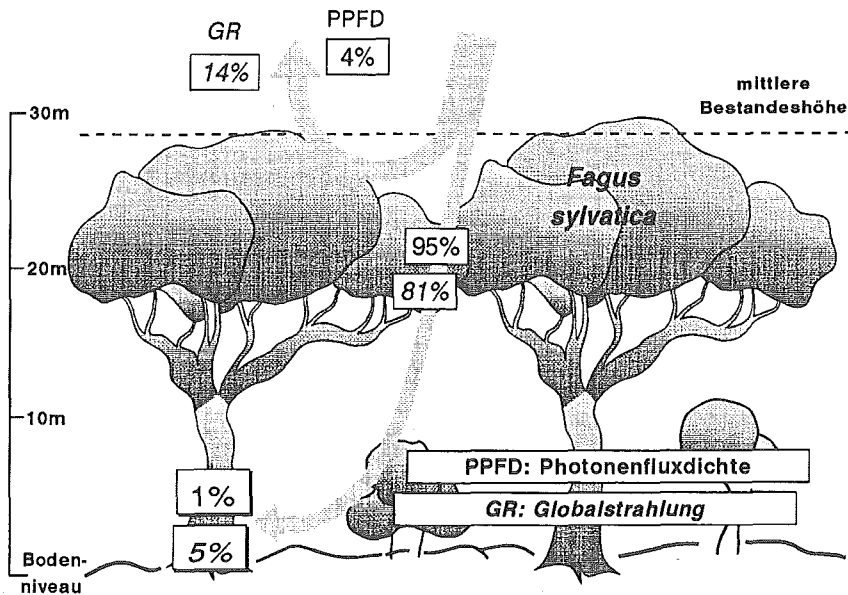


Abb. 4: Strahlungskompartimentierung im vertikalen Bestandesprofil (Photonenfluxdichte (PPFD) und Globalstrahlung (GR, kursiv)) als durchschnittliche Werte der voll belaubten Hochsommerperiode (15.05.-15.09.1994).

Unter Einbeziehung der nach Literaturangaben abgeschätzten Albedo-Werte von 3-4 % (PPFD) und 14 % (Globalstrahlung) (KIESE 1972, EHRHARDT 1988, LEUSCHNER 1994) ergaben sich hohe Absorptionsraten um 95 % (PPFD) und 81 % (Globalstrahlung) im Kronenraum des Buchenhochwaldes. Zwischen den beiden Meßniveaus im unteren Kronenraum und unteren Stammraum wurde nur noch eine geringfügige Strahlungsminderung festgestellt, die im Rahmen dieser generalisierenden Darstellung unberücksichtigt blieb.

Die kleinräumige, momentane Strahlungsverteilung am Waldboden bzw. im Stammbereich ist naturgemäß sehr stark von der Bestandesstruktur, insbesondere der jeweiligen Kronenraum-Belaubung abhängig. Sonnenflecken treten hier kürzerfristig



und mit je nach Öffnungsgrad des Laubwerkes unterschiedlicher räumlicher Ausdehnung auf. Abb. 5 illustriert diese räumlich heterogene Einstrahlungsverteilung entlang der 1 m - Sensorfläche eines *SunScan*<sup>TM</sup>-PPFD-Meßgerätes, wenn dieses über ein 40 m- Transekt bewegt wird.

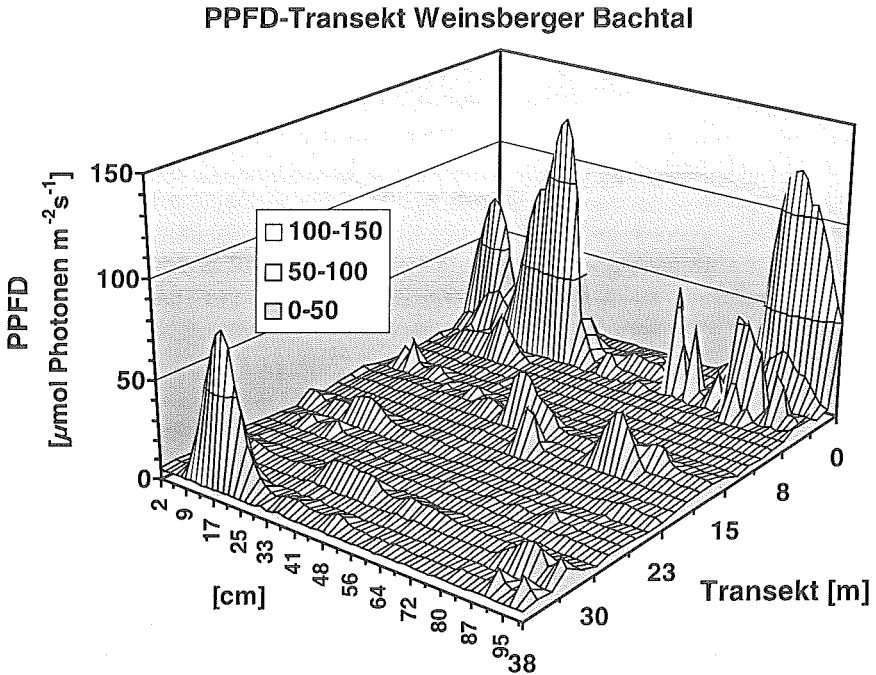


Abb. 5: PPFD-Transekt im Buchenhochwald des Weinsberger Bachtals (Meßhöhe 1m)

Die sich dabei ergebende, hoch aufgelöste Meßwertoberfläche der zu einem Zeitpunkt für den Waldunterwuchs verfügbaren photosynthetisch wirksamen Strahlung illustriert die starke räumliche Differenziertheit des Strahlungsangebotes, die das Fehlen oder die Üppigkeit der Waldbodenvegetation prägt. Aus einem relativ homogenen Strahlungsfeld mit mittleren Werten um  $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  heben sich die Sonnenflecken mit Spitzenwerten bis zu  $130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , in Extremfällen bis zu  $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Daten hier nicht gezeigt), deutlich heraus. Die durchschnittlichen Strahlungswerte der langfristigen stationären Messung (PPFD: 0,82 % des oberhalb der Krone gemessenen Wertes) konnten insgesamt durch die mobilen, räumlich integrierenden Untersuchungen verifiziert werden (PPFD: 0,81 %, Mittelwert aus 120 Einzelmessungen).

Neben den räumlich und saisonal differenzierten quantitativen Veränderungen des Strahlungsklimas kommt es im untersuchten Buchenwald auch zu deutlichen qualitativen Modifikationen des Strahlungsspektrums. Als Indikator der spektralen Veränderungen in der Zusammensetzung der Globalstrahlung wurde die Relation der PPFD zur Globalstrahlung (GR) verwendet. Dieses Verhältnis entspricht in der unbelaubten Phase weitgehend demjenigen über dem Bestand: es liegt unter freiem Himmel relativ konstant bei Werten zwischen 1,9 und 2,1  $\mu\text{mol J}^{-1}$ , oder unter Berücksichtigung eines Umrechnungsfaktors von 4,6  $\mu\text{mol J}^{-1}$  bei 41 bis 46 % der Globalstrahlung. Zum Winter hin ist bei tieferen Sonnenständen eine leichte Abnahme dieser Relation zu verzeichnen. In der blattlosen Zeit des Frühjahrs und Winters ändert sich die spektrale Zusammensetzung der Globalstrahlung bei der Transmission zum Waldboden hin nicht. Mit zunehmender Belaubung kommt es zwischen Mai und Oktober entsprechend den Strahlungstransmissionen jedoch zu einer deutlichen Minderung dieser Rate auf Werte zwischen 0,3 und 0,4  $\mu\text{mol J}^{-1}$ . Aus dieser Veränderung des Koeffizienten PPFD/GR läßt sich auf eine selektive Absorption der PPFD durch das photosynthetisch aktive Blätterdach schließen, die zu einer relativen Erhöhung des NIR-Anteiles führt (Abb. 6).

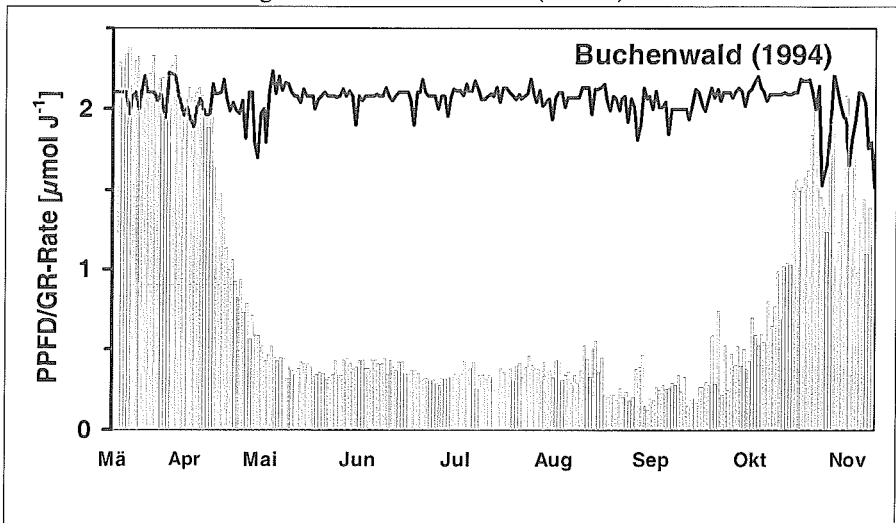


Abb. 6: Jahresgang des PPFD/GR-Verhältnisses. Säulen: PPFD/GR-Rate innerhalb des Bestandes (Meßhöhe 1,5m), Linie: PPFD/GR-Rate über dem Bestand.

Ein Vergleich der nach MONSI & SAEKI (1953) für die einzelnen Wellenlängenbereiche berechneten Extinktionskoeffizienten unterstreicht diese Feststellung: der Extinktionskoeffizient der PPFD liegt in der belaubten Phase mit 0,83 deutlich über denen der Globalstrahlung (0,53) und der Nettostrahlung (0,5).

### 3.2 Temperatur- und Luftfeuchtereime

Betrachtet man die über einen bis zwei Monate gemittelten und nach phänologischen Phasen differenzierten Temperaturwerte (15min-Mittelwerte), nivellieren sich die diurnalen Veränderungen erheblich (Abb. 7). Die in der jeweiligen Meßperiode erfaßten Temperaturamplituden unterscheiden sich zwischen den unterschiedlichen Meßhöhen des Sproßraumes nur geringfügig. Somit sind die mittleren vertikalen Temperatur-Gradienten im Buchenhochwald insgesamt als gering zu bewerten. Im unbelaubten Frühjahr (April) liegt die außerhalb des Bestandes gemessene mittlere Temperatur nur um etwa 0,4 °C über den Lufttemperaturen des Bestandesinnern, die je nach Meßhöhe zwischen 9,3 °C und 9,8 °C variieren. Während in allen Luftschichten Minustemperaturen auftreten, verbleibt der Boden, der aufgrund der verzögerten Erwärmung nach der winterlichen Auskühlung in größeren Tiefen noch etwas kälter als in Oberflächennähe ist, mit durchschnittlichen Temperaturen zwischen 7,8 °C und 8,5 °C ständig frostfrei. In dieser phänologischen Phase erwärmt sich die Bodenoberfläche bei direkter Bestrahlung über die Lufttemperatur der Umgebung und erreicht Maximalwerte um 31 °C. Dadurch wurden an der Bodenoberfläche mit über 30 K ähnliche Amplituden erfaßt wie außerhalb des Bestandes.

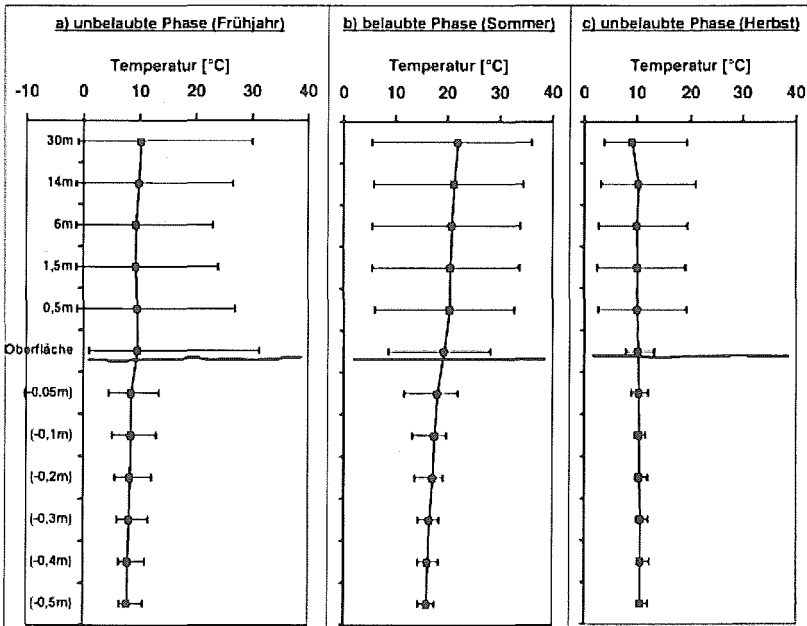


Abb. 7: Temperaturverhältnisse im Vertikalprofil des Buchenwaldes (Mittelwerte, Maximal- und Minimalwerte): April (links), Juli/August (Mitte), November (rechts) basierend auf 15min-Mittelwerten.

Im voll belaubten Zustand (Juli/August) ist der Bestand dagegen um durchschnittlich 1-1,5 K kühler als die Bestandesperipherie, wo mit 35-36 °C die höchsten Absolutwerte gemessen wurden. Die geringsten mittleren Temperaturen, um 20,5 °C, wurden dann in den bodennahen Luftschichten erfaßt. Die über den Zeitraum Juli/August gemittelten Bodentemperaturen nahmen mit zunehmender Tiefe von 0,05 bis 0,5 m um über 2 K ab; die Amplitude verringerte sich deutlich von 10,3 K (0,05 m) auf 3,1 K (0,5 m). Im gleichen Zeitraum variierten die Lufttemperaturen innerhalb des Bestandes zwischen 26,8 °C und 28,6 °C, oberhalb um über 30 °C.

In der herbstlichen, unbelaubten Phase (November) lag die Außentemperatur um etwa 1 K unter der durchschnittlichen Bestandestemperatur von 10,1 °C. Die leichte Überwärmung des Bestandes zeigte sich auch in den geringfügig höheren Maximalwerten und ebensolchen Amplituden. Der Waldboden wies im vertikalen Profil nahezu isotherme Temperaturbedingungen um 10,5 °C auf, bei übereinstimmend geringen Amplituden um 2 K.

Ein weiterer wichtiger bestandesmeteorologischer Parameter ist der Wassergehalt der Luft, dessen Verlauf im Untersuchungszeitraum 1994 anhand des für die Pflanzen wirksamen Wasserdampf-Sättigungsdefizites der Luft in Abb. 8 dargestellt ist.

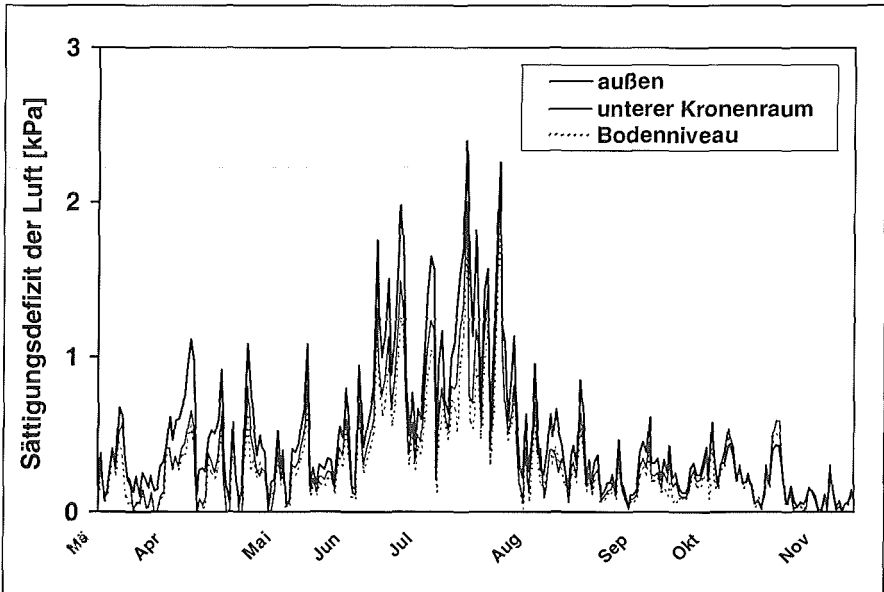


Abb. 8: Jahresgang des Wasserdampf-Sättigungsdefizites der Luft im Buchenwald.

Mit zunehmenden Temperaturen traten bereits im Frühjahr in heiteren Perioden Sättigungsdefizite um 1 kPa auf, die aber innerhalb des Bestandes abgemildert waren. Diese Abpufferung zeigte sich deutlich auch im Hochsommer mit sporadischen maximalen Sättigungsdefiziten von über 2 kPa. In den Herbstmonaten mit durchweg geringen bis mittleren Sättigungsdefiziten glichen sich die Verhältnisse inner- und außerhalb des Buchenhochwaldes einander an. An einigen Herbsttagen erwies sich jedoch das Bestandesinnere als geringfügig lufttrockener.

Unter Berücksichtigung der Tagesmittelwerte der gesamten Hochsommerphase ergibt sich für das Sättigungsdefizit der Luft eine ähnlich signifikante Verminderung mit Annäherung an die Bodenoberfläche wie für die Lufttemperatur: In Bodennähe wird im Mittel 64 % ( $R^2 = 0,90$ ) des oberhalb gemessenen Sättigungsdefizites erreicht, während sich dieser Anteil im unteren Kronenraum auf 76 % erhöht ( $R^2 = 0,93$ ). Dies führte in der unbelaubten Phase zu typischen vertikalen Gradienten der relativen Luftfeuchte von 5-10 %, in der belaubten Phase von 10-20 %. Die aus den Tagesmitteln der gesamten Sommerperiode errechnete durchschnittliche relative Luftfeuchte betrug außerhalb des Buchenhochwaldes 71,6 %, lag innerhalb des Bestandes hingegen bei 78-80 %.

### 3.3 Wind

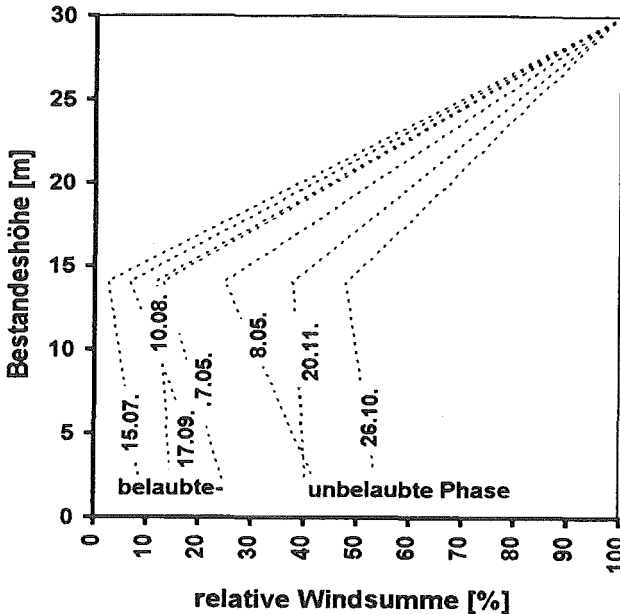


Abb. 9: Vertikale Gradienten der relativen Windsumme (Windsumme  $d^{-1}$  bezogen auf Windsumme  $d^{-1}$  oberhalb des Bestandes (30m)) im unbelaubten und belaubten Buchenwald an ausgewählten Meßtagen.

In Abb. 9 werden die Windverhältnisse im vertikalen Bestandesprofil für verschiedene Belaubungssituationen illustriert. Aufgrund der Heterogenität der einzelnen Meßwerte liegen dieser Darstellung in verschiedenen Höhen erfaßte Tagessummen der Windgeschwindigkeit (Windwege) zugrunde.

Die Windgeschwindigkeit wird innerhalb des Bestandes deutlich reduziert. Diese Verminderung zeigt eine klare Abhängigkeit von der phänologischen Phase des Bestandes: Im belaubten Zustand beträgt diese Windbremsung zwischen 80 und 90% des oberhalb erfaßten Ausgangswertes. In der unbelaubten Phase macht diese Windschwächung noch etwa den halben Betrag gegenüber der belaubten Situation aus. Der teilbelaubte Zustand (Anfang Mai) nimmt dabei eine Zwischenstellung ein. Neben diesen saisonalen Unterschieden werden auch vertikale, durch die Bestandesstruktur bedingte Differenzen offenkundig. So wird besonders im belaubten Zustand die Luft im offeneren, unteren Stammraum deutlich stärker bewegt als im dichten, unteren Kronenraum.

Aufgrund der Hangneigung war im untersuchten Buchenwald gelegentlich ein schwacher Luftstrom spürbar, der durch das seitliche Abfließen der Bestandesluft verursacht wurde, aber aufgrund der geringen Intensität mit den eingesetzten Schalenkreuzanemometern nicht quantifizierbar war. Auch die sich bei Lufttemperaturdifferenzen ausbildenden Turbulenzen (*eddies*), die für einen vertikalen Austausch von Wasserdampf, Kohlendioxid und Wärme sorgen, konnten meßtechnisch nicht erfaßt werden.

## 4. Diskussion

### 4.1 Strahlungshaushalt

Die Strahlungsverhältnisse ober- und innerhalb von Waldbeständen sind von der Jahreszeit (Geometrie Sonne-Erde), der Architektur und dem Entwicklungszustand der Kronenschicht, den optischen Eigenschaften der Pflanzenorgane und dem Verhältnis von diffuser zu direkter Strahlung abhängig (ROSS 1975/81, HUTCHISON & MATT 1977a,b). Ein Teil der auf die Bestandesoberfläche einfallenden Strahlung wird direkt reflektiert (Albedo), ein weiterer Anteil im Bestand absorbiert, der verbleibende Anteil transmittiert zum Boden und wird dort teils absorbiert, teils - je nach Beschaffenheit der Bodenbedeckung - in den Kronenraum zurückreflektiert (GAY & KNOERR 1970). Innerhalb von Pflanzenbeständen wird das Strahlungsklima durch die komplexe, dreidimensionale Struktur (ANDERSON 1964) und die spektralen Absorptions-, Reflexions- und Transmissionseigenschaften der einzelnen Strata modifiziert. Besonders im Kronenraum von Waldbeständen unterliegt das Strahlungsregime daher einer außerordentlich großen räumlichen und zeitlichen Variabilität (BALDOCCHI ET AL. 1986), die eine Erfassung und detaillierte

Beschreibung erschwert. In sommergrünen Laubwäldern kommen zusätzlich die sich saisonal verändernde Phänologie und die jährlichen Schwankungen der Blattbiomasse bzw. des Blattflächenindex zum Tragen (HUTCHISON & MATT 1977b, BALDOCCHI ET AL. 1984a,b).

	PPFD-Transmission [%]	GR-Transmission [%]	NR-Transmission [%]	LAI	
Buchenwald (Solingen)	ca. 1	4,7-4,9	5,5	5,8	eigene Ergebnisse
Buchenwald (Göttingen)	1,3-3,6 1,1 (heiter)	4,6-7,4 4,5 (heiter)		6 5,5	Erhardt (1988) Erhardt & Van Eimern (1983), Van Eimern (1984)
Buchenwald (Solling)	3-5 (1988) 2,5-3 (1986)			5,55	Schulte (1992)
Buchenwald (Solling)		6,9 (sonnige-) 9,5 (bedeckte Tage)	9,5	5,6	Kiese (1972)
Buchenwald (Solling) 57 78 120 Jahre	2,72 3,36 4,36 (Licht)			5,6	Eber (1972)
Buchenwald (Nancy, F)		5 4,3 (sonnige-) 6,5 (bedeckte Tage)		6,23	Aussenac & Ducrey (1977)
Buchenwald (Lüneburger Heide)	3,5	9		4,8-4,9	Leuschner (1994)
versch. Altbuchenbestände	2-40 (Licht) (26-66, unbelaubt)				Geiger (1961), Literaturübersicht
Buchenwald (Japan)	2,5 (Licht)			6,1	Ogino (1977)
Eichen-Mischwald (Oak Ridge, USA)	3-4	8	9	4,9	Baldocchi et al. (1984a,b)
Eichen-Mischwald (Virelles, B)		7,9 5,6 (sonnige-) 8,2 (bedeckte Tage) 5,7-6,8	10,5	6,8	Grulois (1968)
Eichen-Hainbuchenwald (Slowakei)	5			5-6	Elias et al. (1989)

Tab. 1: Strahlungstransmissionen und Blattflächenindizes ausgewählter Laubwälder.

In dem in dieser Arbeit untersuchten Buchenbestand herrschen ähnliche Strahlungsverhältnisse, wie sie für andere mitteleuropäische Buchenwälder publiziert und mit ihren Kennwerten in Tabelle 1 zusammengefaßt sind. Die Transmissionsraten der Globalstrahlung im Hangbuchenwald des Weinsberger Bachtals stimmen mit den von EHRHARDT (1988) und AUSSENAC & DUCREY (1977) festgestellten Werten überein, liegen aber unter den für den Buchenwald des Sollings beschriebenen

Raten, die jedoch aufgrund der Auswahl der Meßstelle als wenig repräsentativ gelten können (vg. WILMERS & ELLENBERG 1986). Die relative PPF-D-Transmission ist im Vergleich mit anderen Studien als gering einzustufen und erreicht lediglich die von VAN EIMERN (1984) und EHRHARDT (1988) für den Göttinger Wald beschriebenen niedrigen Werte.

Der aus der Strahlungstransmission unter Berücksichtigung der abgeschätzten Reflexion für die PPF-D errechnete Absorptionsanteil von 95% stimmt mit den von EHRHARDT (1988) für den Göttinger Buchenwald bestimmten Absorptionskoeffizienten (0,94-0,96) überein und übertrifft die von LEUSCHNER (1994) beschriebenen Werte (0,93-0,94) geringfügig, wohingegen die ermittelten Absorptionskoeffizienten der Globalstrahlung um 0,8 als charakteristisch für voll belaubte Buchenbestände gelten können (VAN EIMERN 1984, EHRHARDT 1988).

Der in dieser Untersuchung beschriebene saisonale Verlauf des Strahlungsklimas kann als repräsentativ für laubabwerfende Waldbestände angesehen werden. So wird der maximale frühjahreszeitliche Strahlungseintrag in den Stamm- und Bodenraum vor dem Laubaustrieb von zahlreichen Autoren beschrieben (HUTCHISON & MATT 1977b, BALDOCCHI ET AL. 1984a,b, EHRHARDT 1988). In dieser Phase erfolgt bei schon relativ hohem Sonnenstand ein erheblicher, überwiegend durch den direkten Strahlungsanteil eingebrachter und daher sehr variabler Energieeintrag. Der proportionale Anstieg vom winterlichen Minimum zum frühjahreszeitlichen Maximum im April ist dabei im Bestand größer als im offenen, waldfreien Gelände (ANDERSON 1964). Im untersuchten, südlich exponierten Hangbuchenwald kommt es durch die Kombination von Inklination und Exposition (ROWLAND & MOORE 1992, OLIVER 1992) bereits im zeitigen Frühjahr zu einem relativ hohen Strahlungseintrag, verbunden mit rascher Erwärmung und frühem Vegetationsbeginn. Trotz des im Jahreslauf ansteigenden solaren Energieeintrags wird die Einstrahlung innerhalb des Bestandes durch die Ausbildung der innerhalb der Sommerperiode relativ statischen Struktur des Blätterdaches erheblich vermindert, was zu relativ gleichmäßigen, sommerlichen Strahlungsverhältnissen führt. Mit dem herbstlichen Blattfall steigt die Transmissionsrate wiederum an, erreicht aber nicht das hohe Niveau des Frühjahres. Die geringeren Transmissionen in der unbelaubten Winterperiode sind auf die Zunahme der Kulissenwirkung der Bäume - primär der massiven Baumstämme - zurückzuführen, die bei niedrig stehender Wintersonne den direkten Strahlungsanteil weitgehend absorbieren. Bei den Buchen ist diese Schwächung aufgrund der dunkleren Stämme größer als beispielsweise bei den Eichen (DIRMHIRN 1964). Im Sommer kommt die Abhängigkeit der Strahlungsgrößen von Höhen- und Azimutwinkel der Sonne weniger zum Tragen, da die Lücken im Kronendach die ankommende Strahlung zusätzlich zerstreuen und besonders an bewölkten Tagen ein räumlich homogenes Strahlungsklima schaffen. Durch die er-



höhten Anteile diffuser Strahlung werden somit an bewölkten Tagen in Waldbeständen oftmals insgesamt erhöhte, jedoch weniger variable Transmissionsraten gemessen (GRULOIS 1968, KIESE 1972, AUSSENAC & DUCREY 1977).

#### 4.2 Temperatur- und Luftfeuchtereime

Die zeitliche und räumliche Verteilung der Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten ober- und innerhalb eines Waldes resultiert aus Veränderungen des Strahlungsklimas und der physiologischen Aktivität der Blätter, wird aber auch von advektiven Transportvorgängen der Luftmassen beeinflusst (GEIGER 1961, JARVIS ET AL. 1976). Im belaubten Zustand erfolgt der überwiegende Teil des Strahlungsumsatzes im oberen Kronenraum eines Waldbestandes, wo demgemäß die höchsten Temperaturen und größten Temperaturschwankungen auftreten (VAN EIMERN & RIEDINGER 1986). Im Buchenhochwald des Sollings wurden die höchsten Temperaturen während der Laubphasen im Hauptumsatzniveau, im Kronenraum bei 24,5 m Höhe, mit einem Maximalwert von 26,7 °C gemessen (KIESE 1972). Diese Temperaturmaxima wurden im unteren Kronenraum des untersuchten Buchenbestandes im Weinsberger Bachtal mit Temperaturen über 30 °C deutlich übertroffen. Durch die Höhenlage (500 m NN) liegt die Jahresmitteltemperatur des Sollings (6,6 °C) um 2 K unter der von Solingen (200 m NN), das Temperaturregime ist dort deshalb als durchweg kühler einzustufen. In Buchenbeständen übereinstimmender Höhenlage (AUSSENAC & DUCREY 1977) wurden im oberen Kronenraum ebenfalls Temperaturen von über 30 °C gemessen, ebenso wie für Laubmischwälder anderer Regionen (30-33 °C: ELIAS ET AL. 1989). In Buchenbeständen des *Burgholzes* wurden an sommerlichen Strahlungstagen auch in Bodennähe Temperaturen von über 30 °C erfaßt (KUTTLER 1987). SMOLEN & MATEJKA (1982) beschreiben für einen Eichen-Hainbuchenwald bis zu 25 % höhere Kronenraumtemperaturen im Vergleich zu einer nahegelegenen meteorologischen Station.

WILMERS & ELLENBERG (1986) ermittelten für den ähnlich strukturierten Buchenhochwald des Sollings ganzjährig äußerst geringe vertikale Temperaturgradienten, die mit 1-2 K unter den im Solinger Buchenwald ermittelten Werten von meist 3-4 K liegen. Hingegen erfaßten ELIAS ET AL. (1989) in einem Eichen-Hainbuchenbestand an sonnigen Tagen ähnlich hohe vertikale Temperaturgradienten um 4 K, Wertespannen, die auch von CHROUST (1968) für einen Eichenbestand berichtet werden. Entsprechende Temperaturgradienten von 3-4 K zwischen Freifläche und Bestandesinnerem wurden auch von KUTTLER (1987) für den *Burgholz*-Buchenbestand ermittelt. Die im Solinger Bestand an sommerlichen Strahlungstagen maximal gemessenen vertikalen Temperaturdifferenzen von etwa 5 K entsprechen Extremen, wie sie auch von AUSSENAC & DUCREY (1977) für einen Buchenhochwald oder von BAUMGARTNER (1956) für dichte Fichtenforste (4-6 K) berichtet wurden.

Der Einfluß des Waldes auf die Temperaturextreme wird durch zwei gegenläufige Effekte bewirkt: Die Strahlungsreduzierung im Bestandesinnern wirkt ausgleichend, die Wind- und Turbulenzschwächung hingegen verstärkend auf die Temperaturextreme (FLEMMING 1994). Je nach der Bestandesdichte dominiert einer dieser beiden Effekte über den anderen: In dichten Beständen überwiegt die Strahlungsminderung in ihrem Effekt gegenüber dem der Windabschwächung, was zu einem ausgeglichenen Temperaturregime führt. In lockeren und lückigen Beständen, typisch für mitteleuropäische Mischwälder, übertrifft der die Temperaturextreme verstärkende Windschutzeffekt den temperaturnausgleichenden Strahlungseffekt. Somit kommt es in diesen Beständen zu extremeren Temperaturverläufen mit nächtlicher Abkühlung und täglicher Übererwärmung gegenüber den außerhalb gemessenen Temperaturverhältnissen. Trotz weitgehendem Kronenschluß (LAI-Wert  $5,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) entspricht der untersuchte Buchenhochwald insgesamt eher dem lockeren Bestandestypus, läßt aber in der kurzzeitigen Ausbildung hoher Temperaturgradienten zwischen dem Bestandesinneren und der Kronenobergrenze auch Charakteristika des dichten Bestandestypus erkennen (GÖHRKE & LÜTZKE 1956, GEIGER 1961, FLEMMING 1994).

Vor dem Laubaustrieb findet der Strahlungsumsatz im Buchenwald vor allem in Bodennähe statt, was durch die Überwärmung der Bodenoberfläche und der bodennahen Luftschichten angezeigt wird. Auch im Buchenwald des Sollings wurden im unbelaubten Zustand die höchsten Lufttemperaturen in Bodennähe gemessen (KIESE 1972). VAN EIMERN (1986) wies auf die Heizwirkung auf der Bodenoberfläche eines Buchenbestandes hin, wenn der Zustand schwacher Belaubung bei bereits großer Sonnenhöhe gegeben ist (April/Mai). Diese frühjahreszeitliche Erwärmung des Bodens ist für zahlreiche Prozesse, wie die Aktivierung der Streuzersetzung und des Austriebs der Frühjahrs-Geophyten von grundlegender Bedeutung. Die Erwärmung des Bodens auf Temperaturen zwischen  $6,5$  und  $7,5$  °C aktiviert eine verstärkte Wasseraufnahme der Pflanzen (ELLENBERG 1982) und, einhergehend mit mittleren Lufttemperaturen über  $10$  °C, auch den Blattaustrieb der Buchen. Der Wärmestrom dringt von der Bodenoberfläche verzögert und abgeschwächt in die tieferen Bodenschichten ein. Umgekehrt findet eine Abkühlung zuerst an der Bodenoberfläche statt und setzt sich dann mit einiger Verzögerung in die tieferen Bodenschichten fort. Die erreichten maximalen und minimalen Bodentemperaturen hängen von der Bestandesdichte und dem Kronenschluß ab (MITSCHERLICH 1971). Dem von SCHULTE (1992) für einen Buchenbestand (Solling) beschriebenen saisonalen Verlauf der Bodentemperaturen entsprach bei insgesamt um  $2-5$  K niedrigeren absoluten Temperaturen weitgehend auch der im Solinger Buchenwald erfaßte Jahresgang: von April an erfolgte ein kontinuierlicher Anstieg bis zu einem Maximum im August ( $12$  °C) und ein geringerer Abfall bis Ende Oktober auf  $8$  °C ( $0,5$  m Bodentiefe, Solling).

Die relative Luftfeuchte ist definitionsgemäß eng mit den Temperaturverhältnissen des Bestandes verknüpft, hängt darüber hinaus aber auch maßgeblich vom absoluten Wassergehalt bzw. Dampfdruck ab. Im allgemeinen ist die relative, aber auch die absolute Luftfeuchtigkeit in Wäldern im Vergleich zu angrenzenden Freilandstationen z.T. erheblich erhöht (KUTTLER 1987). Die sich überwiegend innerhalb der belaubten Sommerperiode einstellenden niedrigeren Sättigungsdefizite und höheren Dampfdrucke liegen in der Anreicherung des Wasserdampfes im Waldinneren begründet, die durch eine Minderung der Turbulenz bewirkt wird (FLEMMING 1994) sowie durch die Transpiration der Pflanzen. Die reduzierte Luftbewegung bewirkt, daß das Ausmaß der Luftfeuchteerhöhung mit der Dichte und der Phänologie des Bestandes korreliert ist. So bilden sich die Unterschiede in der absoluten und relativen Luftfeuchte besonders prägnant in dicht geschlossenen Jungbeständen heraus (BAUMGARTNER 1956), während in älteren Beständen mit meist hoch hinaufreichenden, astfreien Stammräumen und insgesamt stärkerer Luftbewegung die Durchmischung der feuchteren Bestandesinnenluft mit der trockeneren Außenluft intensiver ist (MITSCHERLICH 1971). Die höchsten relativen Luftfeuchten und niedrigsten Sättigungsdefizite werden in Waldbeständen typischerweise in Bodennähe erfaßt und nehmen mit zunehmender Bestandeshöhe ab (GEIGER 1961). Oftmals bildet sich im Kronenraum temporär ein weiteres Maximum aus, das, dort ebenso wie über der Krautschicht, durch die Akkumulation des transpirativ abgegebenen Wasserdampfes gebildet wird (AUSSENAC & DUCREY 1977, BAUMGARTNER 1956).

Maximale vertikale Gradienten von 20 % relativer Luftfeuchte und Unterschiede des Sättigungsdefizites von bis zu 1,5 kPa werden von AUSSENAC & DUCREY (1977) für einen voll belaubten Buchenwald bei Nancy unter sommerlichen Klimabedingungen beschrieben, in dem die Sättigungsdefizite in der auch in dieser Untersuchung für einen Sommertag gezeigten Größenordnung zwischen 1 und 2 kPa lagen. Dabei traten die minimalen Luftfeuchten und höchsten Sättigungsdefizite im oberen Kronenraum auf. Auch ELIAS ET AL. (1989) ermittelten für einen slowakischen Eichen-Hainbuchenbestand im Sommer vertikale Luftfeuchtegradienten um 20 %. Insgesamt können so die für den Solinger Buchenwald beschriebenen Luftfeuchteverhältnisse als charakteristisch für die meisten sommergrüne Wälder der gemäßigten Klimazone gelten (GEIGER 1961, MITSCHERLICH 1971, KUTTLER 1987).

### **4.3 Wind**

Die Form eines vertikalen Windprofiles hängt zum einen von der Windgeschwindigkeit über dem Bestand, zum anderen von den aerodynamischen Eigenschaften des Kronendachs ab (RAUNER 1976, DOLMAN 1986). Im Kronenraum ist die windbremsende Wirkung aufgrund der Biomasseakkumulation am stärksten,

und die Windgeschwindigkeit nimmt mit zunehmender Bestandestiefe rapide ab. Besonders wirksam sind dabei nicht dicke Stämme, sondern federnde Äste und Zweige, die eine Erhöhung der Turbulenz bewirken (MITSCHERLICH 1971). Die unter dem Kronenraum auftretende Zunahme der Windgeschwindigkeit wird in zahlreichen Untersuchungen hervorgehoben (GEIGER & AMANN 1931, KIESE 1972, AUSSENAC & DUCREY 1977) und deutet sich auch im Rahmen der vorliegenden Studie an. Für den Buchenhochwald des Sollings sind im unbelaubten Zustand Windabschwächungen von 50-70% des Ausgangswertes beschrieben, die bei voller Belaubung auf 80-90% steigen (KIESE 1972, WILMERS & ELLENBERG 1986). FLEMMING (1994) nennt als Orientierungswerte eine typische Reduzierung der Windgeschwindigkeit innerhalb von Waldbeständen auf 10-30% des Ausgangswertes im belaubten und etwa den doppelten Wert im unbelaubten Zustand. Die im Solinger Buchenwald ermittelten Windattenuationen liegen in diesen Wertebereichen.

#### 4.4 Standortklimatische Gesamtcharakterisierung

Das Mikroklima im Luzulo-Fagetum des Weinsberger Bachtals kann als repräsentativ angesehen werden für die Laubwälder der Hanglagen des niederbergischen Raumes; die hier gewonnenen Befunde sind auch auf die Situation entsprechender Parzellen im wenige Kilometer nördlich gelegenen *Burgholz* übertragbar. Prinzipiell besteht auch Übereinstimmung mit den Verhältnissen an anderen Orten ökosystemarer Untersuchungen im collinen bis montanen Buchenwaldbereich (ELLENBERG ET AL. 1986). Sowohl das herrschende Strahlungsregime als auch die durchschnittlichen Temperatur- und Luftfeuchteverhältnisse sind vergleichbar, vorausgesetzt, modifizierende Einflüsse der Höhenlage und des Geländereiefs werden in ihren Wirkungen gebührend in Rechnung gestellt. Das Mikroklima im Inneren des Waldbestandes ist gekennzeichnet durch starke Lichtabschwächung, Dämpfung der Temperaturextreme, Erhöhung der Feuchtigkeit und Verminderung der Turbulenzen im Luftraum unter dem Schirm der Buchenkronen. Ein entscheidendes Charakteristikum seines saisonalen Verlaufs ist der vor dem Laubaustrieb, d.h. deutlich vor dem astronomischen Sonnenhöchststand, sein Jahresmaximum erreichte Strahlungseintrag in den Stamm- und Bodenraum. Der damit verbundene, von den winterlichen Minimumwerten ausgehende, steile Temperaturanstieg ermöglicht der im späteren Lichtfleckenbereich wachsenden Stauden- und Baumjungpflanzen-Flora einen frühzeitigen Entwicklungsschub und setzt bei den adulten Buchen die mit der Laubentfaltung einhergehende hohe metabolische Aktivität in Gang. Die Bestandsklima-Untersuchungen im Weinsberger Bachtal stellen eine Erweiterung der Datenbasis zur Charakterisierung der europäischen Fallaub-Biome dar; sie können die im Rahmen der Internationalen Biologischen Programme im Solling (ELLENBERG 1971; ELLENBERG ET AL. 1986) und in den Ardennen (DUVIGNEAUD & KESTEMONT 1977) durchgeführten Ökosystemstudien mit ihren ebenfalls lokalen Klima-Befunden mit entsprechender Information zu einem

dazwischenliegenden Naturraum ergänzen. Das insgesamt als gemäßigt temperiert und humid zu kennzeichnende Bestandsklima konfrontiert die Waldbäume im Bergischen Land lediglich mit moderaten Belastungen. Dieser Komplex der Standortfaktoren ist somit für die Vitalität und Produktivität der hier stockenden Bestände als sehr günstig einzustufen.

#### Danksagung:

Die Autoren bedanken sich bei der STIFTUNG ZUM SCHUTZ VON TIER UND PFLANZE e.V. (Sollingen), stellvertretend Herrn Küller und Herrn Lambracht, für die Überlassung der Versuchsflächen im Weinsberger Bachtal, die finanzielle Unterstützung und die gute Zusammenarbeit.

#### 5. Literatur

- ANDERSON, M.C. (1964): Studies of the woodland light climate. II. Seasonal variation in the light climate. - J. Ecol. **52**: 643-663.
- ASCHAN, G. (1998): Mikroklima, Energiebilanz und Wasserhaushalt von tropischen und extratropischen Wäldern. (Edition Wissenschaft; Reihe Biologie, Bd. **159**). TECTUM-Verlag, Marburg, 256 S. Zugl.: Diss. Uni Düsseldorf, 1997.
- ASCHAN, G., FLESCHE, D., HEIBEL, E. & LÖSCH, R. (1996): Bodenwasserverhältnisse und Bestandesmikroklima in einem Nebental der Wupper am Westrand des Bergischen Landes. - Jber. naturwiss. Ver. Wuppertal **49**: 178-186.
- AUSSENAC, G. & DUCREY, M. (1977): Etude bioclimatique d'une futaie feuillue (*Fagus sylvatica* L. et *Quercus sessiliflora* Salisb.) de l'est de la France. I. - Analyse des profils microclimatiques et des caractéristiques anatomiques et morphologiques et de l'appareil foliaire. - Ann. Sci. For. **34**(4): 265-284.
- BALDOCCHI, D.D., MATT, D.R., HUTCHISON, B.A. & MCMILLEN, R.T. (1984a): Solar radiation within an oak-hickory forest: an evaluation of the extinction coefficients for several radiation components during fully-leaved and leafless periods. - Agric. For. Meteorol. **32**: 307-322.
- BALDOCCHI, D.D., B.A. HUTCHISON, D.R. MATT & MCMILLEN, R.T. (1984b): Seasonal variations in the radiation regime within an oak-hickory forest. - Agric. For. Meteorol. **33**: 177-191.
- BALDOCCHI, D.D., B.A. HUTCHISON, D.R. MATT & MCMILLEN, R.T. (1986): Seasonal variation in the statistics of photosynthetically active radiation penetration in an oak-hickory forest. - Agric. For. Meteorol. **36**: 343-361.
- BAUMGARTNER, A. (1956): Untersuchungen über den Wärme- u. Wasserhaushalt eines jungen Waldes. - Ber. dt. Wetterdienst **5**, Nr. **28**: 1-53.
- BEESE, F., WARAGHAI, A., WÖHLER, I., STICKAN, W. & MEIWES, K.-J. (1991): Gehalte an Nährelementen und organischen Verbindungen in Buchenblättern und phänologische Prozesse in Abhängigkeit vom Versauerungsgrad des Bodens. - Ber. d. Forschungsz. Univ. Göttingen, Reihe B, Bd. **17**, 178 S.
- CHROUST, L. (1968): Das Temperaturregime in verschieden durchforsteten Eichen-Stangenhölzern. - AFZJ **139**: 435-454.
- DIRMHORN, I. (1964): Das Strahlungsfeld im Lebensraum. - Akademie-Verl., Frankfurt, 426 S.
- DOLMAN, A.J. (1986): Estimates of roughness length and zero plane displacement for a foliated and non-foliated oak canopy. - Agric. For. Meteorol. **36**: 241-248.
- DUVIGNEAUD, P. & KESTEMONT, P. (éd., 1977): Productivité biologique en Belgique. SCOPE. Trav. Sect. Belge Progr. Biol. Internat. (Paris-Gembloux), 617 S.

- EBER, W. (1972): Über das Lichtklima von Wäldern bei Göttingen und seinen Einfluß auf die Bodenvegetation. - *Scripta Geobotanica* (Göttingen) **3**: 150 S.
- EHRHARDT, O. (1988): Der Strahlungshaushalt eines Buchenwaldes und dessen Abwandlung während der verschiedenen phänologischen Entwicklungsphasen. - *Ber. Forschungszentrum Wald-ökosysteme Univ. Göttingen* **A45**, 170 S.
- EHRHARDT, O. & VAN EIMERN, J. (1983): Der Strahlungshaushalt eines Buchenwaldes an fünf ausgewählten Strahlungstagen. - *Wetter & Leben* **35**: 230-239.
- ELIAS, P., KRATOCHVILOVA, I., JANOUS, D., MAREK, M. & MASAROVICOVA, E. (1989): Stand microclimate and physiological activity of tree leaves in an oak-hornbeam forest. - *Trees* **4**, 227-233.
- ELLENBERG, H. (Hg.) (1971): *Integrated experimental ecology. Methods and results of ecosystem research in the German Solling projekt. Ecological studies 2.* Springer Verlag, Berlin, 214 S.
- ELLENBERG, H. (1982): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht.* 3.Aufl., Ulmer, Stuttgart, 989 S.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht.* 5.Aufl., Ulmer, Stuttgart, 1095 S.
- ELLENBERG, H., MAYER, R. & SCHAUERMANN, J. (Hg.) (1986): *Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojektes 1966-86.* - Ulmer Verlag, Stuttgart, 507 S.
- FLEMMING, G. (1994): *Wald-Wetter-Klima. Einführung in die Forstmeteorologie.* - Deutscher Landwirtschaftsverl. Berlin, 136 S.
- GALOUX, A. (1973): La chenaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont. Flux d'énergie radiante, conversions et transferts dans l'écosystème (1964-67). - *Traveaux Station de recherches des eaux et forêts, Groenendaal-Hoeilaart*, **A14**.
- GAY, L.W. & KNOERR, K.R. (1970): The radiation budget of a forest canopy. - *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, **18**: 187-196.
- GEIGER, R. & AMANN, H. (1931): *Forstmeteorol. Untersuchungen in einem Eichenbestand.* - *Forstw. Cbl.* **53**: 341-351.
- GEIGER, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. - *Die Wissenschaft Band 78.* F. Vieweg, Braunschweig, 646 S.
- GÖHRKE, K. & LÜTZKE, R. (1956): Der Einfluß von Bestandsdichte und -struktur auf das Kleinklima im Walde. - *Arch. f. Forstw.* **5**: 487-572.
- GRULOIS, J. (1968): La chenaie de Virelles-Blaimont. Réflexion, interception et transmission du rayonnement de courtes longueurs d'onde: variations au cours d'une année. - *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* **102**: 13-25.
- HEIBEL, E., FLESCHE, D., LÖSCH, R. & ASCHAN, G. (1995): Die Vegetation des Weinsberger Bachtals, Solingen, eines typischen Kerbtals am Westrand des Bergischen Landes. - *Acta Biol. Benrodis* **7**: 135-162.
- HUTCHISON, B.A. & MATT, D.R. (1977a): The distribution of solar radiation within a deciduous forest. - *Ecol. Monogr.* **47,2**: 186-207.
- HUTCHISON, B.A. & MATT, D.R. (1977b): The annual cycle of solar radiation in a deciduous forest. - *Agric. Meteorol.* **18**: 255-265.
- JARVIS, P.G., JAMES, G.B. & J.J. LANDSBERG (1976): Coniferous forests. In: MONTEITH, J.L. (Hg.): *Vegetation and the atmosphere.* Vol. 2, Academic Press, London, 171-240.
- KIESE, O. (1972): Bestandsmeteorologische Untersuchungen zur Bestimmung des Wärmehaushaltes eines Buchenwaldes.- *Berichte d. Instituts für Meteorologie und Klimatologie TU Hannover* **6**, Ergebnisse d. Sollingprojektes der DFG (IBP) Mitteilung **62**, 132 S.
- KUTTLER, W. (1984): Zur Filterkapazität und zum Bestandesklima eines Buchen- und Fichtenforstes im Bergischen Land. - *Jber. naturwiss. Ver. Wuppertal* **37**: 142-155.
- KUTTLER, W. (1987): Zur Filterkapazität und zum Bestandesklima eines Buchen- und Fichtenforstes im Bergischen Land. Teil II (Abschlußbericht). - *Jber. naturwiss. Ver. Wuppertal* **40**: 117-133
- LEUSCHNER, C. (1994): *Walddynamik in der Lüneburger Heide: Ursachen, Mechanismen und die Rolle der Ressourcen.* - *Habil.-schrift der Math.-Nat. Fakultät d. Universität Göttingen*, 368 S.

- LÖLF (1978): Naturwaldzellen in NRW. - Teil 3: Bergisches Land/ Sauerland.
- LÖSCH, R., HAENSLER, J., LESSING, N. & HEIBEL, E. (1997/98): Nährstoffverfügbarkeit und Bodenatmung waldreicher Talhänge im Bergischen Land auf Grauwacke- und Massenkalkuntergrund. *Acta Biol. Benrodis* **9**: 121-139.
- MITSCHERLICH, G. (1971): Wald, Wachstum und Umwelt: Waldklima und Wasserhaushalt. - Sauerländer, Frankfurt.
- MONSI, M. & SAEKI, T. (1953): Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. - *Jap. J. Bot.* **14**: 22-52.
- MURL (Der Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW) Hrsg. (1989): Klima-Atlas von Nordrhein-Westfalen. - Düsseldorf.
- OGINO, K. (1977): A beech forest at Aishu - biomass, its increment and net production. - In: SHIDEI, T. & KIRA, T. (Hg.): Primary productivity of Japanese Forests. (JIBP Synthesis, Vol. 16), Univ. of Tokyo Press, Tokyo: 172-186.
- OLIVER, H.R. (1992): Studies of surface energy balance of sloping terrain. - *Int. J. Climatol.* **12**: 55-68.
- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 2. Aufl., Ulmer, Stuttgart, 622 S.
- RAUNER, J.L. (1976): Deciduous forests. In: MONTEITH, J.L. (Hg.): Vegetation and the atmosphere. Vol. 2, Academic Press, London: 241-264.
- ROSS, J. (1975): Radiative transfer in plant communities. - In: MONTEITH J.L. (Hg.): Vegetation and the Atmosphere. Vol. 1. Academic Press, London: 13-55.
- ROSS, J. (1981): The radiation regime and architecture of plant stands. W. Junk Publ., The Hague, 391 S.
- ROWLAND, J.D. & MOOR, R.D. (1992): Modelling solar irradiance on sloping surfaces under leafless deciduous forests. - *Agric. For. Meteorol.* **60**, 111-132.
- SCHÜTTLER, A. (1952): Die Landkreise in NRW. Reihe A: Nordrhein. Bd. 1: Der Landkreis Düsseldorf-Mettmann. - A. Henn-Verlag, Ratingen.
- SCHULTE, M. (1992): Saisonale und interannuelle Variabilität des CO<sub>2</sub>-Gaswechsels von Buchen (*Fagus sylvatica* L.) - Bestimmung von C-Bilanzen mit Hilfe eines empirischen Modells. - Dissert. Univ. Göttingen, 164 S.
- SMOLEN, F. & MATEJKA, F. (1982): Vertical stratification of air-temperature in the production space of oak-hornbeam forest. - *Ekologia (CSSR)* **1**: 25-36.
- VAN EIMERN, J. (1984): Variations of the radiation within and above a beech forest during a phenological year. - *Geojournal* **8.3**: 271-275.
- VAN EIMERN, J. (1986): Oberflächen- und Lufttemperatur in einem Buchenwald zu verschiedenen Jahreszeiten. - *Meteorol. Rdsch.* **39**: 13-24.
- VAN EIMERN, J. & RIEDINGER, F.P. (1986): Zur vertikalen Verteilung der Luft- und Pflanzentemperatur in einem Buchenhochwald besonders im Kronenraum. - *Agric. For. Meteorol.* **38**: 27-45.
- WALTER, H. & LIETH, H. (1960): Klimadiagramm-Weltatlas (in Lieferungen). - VEB G. Fischer, Jena.
- WALTER, H. & BRECKLE, S.-W. (1986): Ökologie der Erde, Bd. III. Spezielle Ökologie der gemäßigten und arktischen Zonen Euro-Nordasiens. G. Fischer-Verl., Stuttgart.
- WEIHE, J. (1976): Die Regenmessung im Wald. - *Allg. Forst- u. Jagdz.* **12**: 235-240.
- WILMERS, F. & ELLENBERG, H. (1986): Allgemeinklima und Bestandesklima. - In: ELLENBERG, H., MAYER, R. & SCHAUERMANN, J. (Hg.) (1986): Ökosystemforschung. Ergebnisse des Sollingprojektes 1966-86. - Ulmer Verlag, Stuttgart: 61-76.

R. Lösch  
 Abt. Geobotanik,  
 H. Heine-Universität Düsseldorf,  
 Universitätsstr. 1 /26.13,  
 40 225 Düsseldorf

G. Aschan,  
 Inst. f. Angewandte Botanik,  
 Universität GH Essen,  
 Universitätsstr. 5,  
 45 117 Essen

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahresberichte des Naturwissenschaftlichen Vereins Wuppertal](#)

Jahr/Year: 2000

Band/Volume: [53](#)

Autor(en)/Author(s): Aschan G., Lösch Rainer

Artikel/Article: [Das Bestandesklima niederbergischer Buchenwälder 89-111](#)