

MIKROKLIMA IN BUCHENBESTÄNDEN AUF GEGENÜBERLIEGENDEN HÄNGEN IN DER SCHWÄBISCHEN ALB

*Thomas Holst, Andreas Matzarakis, Helmut Mayer, Jutta Rost und Dirk Schindler
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg, Werderring 10, D-79085 Freiburg*

ZUSAMMENFASSUNG

Das Meteorologische Institut der Universität Freiburg betreibt im Rahmen des Sonderforschungsbereiches (SFB) 433 „Buchendominierte Laubwälder unter dem Einfluss von Klima und Bewirtschaftung“ fünf mikrometeorologische Messstationen auf den gemeinsamen SFB-Versuchsflächen bei Möhringen (Schwäbische Alb, Südwestdeutschland). Vier dieser Stationen befinden sich im Stammraum von Buchenbeständen auf zwei Hängen mit unterschiedlicher Exposition (NO und SW) und forstlicher Bewirtschaftung (Kernflächen). Eine weitere Station dient den umlaufenden Messungen in Buchenbeständen auf weiteren Satellitenflächen. Zusätzlich erfolgen an zwei Messtürmen (ca. 1.5-fache Bestandeshöhe) kontinuierliche meteorologische Messungen im Kronenraum und über Buchenbeständen auf den Kernflächen am NO- und dem gegenüberliegenden SW-Hang.

Die ersten Ergebnisse aus den meteorologischen Messungen im Stammraum zeigen einen deutlichen Einfluss sowohl der Exposition als auch der forstlichen Bewirtschaftung auf das Mikroklima in Buchensbeständen, insbesondere bei den Strahlungsflüssen PAR, UV-A und UV-B. Die unterschiedliche Exposition (NO und SW) der

Untersuchungshänge spiegelt sich in veränderten Tagesgängen der Strahlungsflüsse wider, was zu unterschiedlichen Energieeinträgen auf die Hänge mit Auswirkungen auf andere meteorologische Parameter, wie z.B. die Lufttemperatur, führt. Differierende forstliche Bewirtschaftungsmaßnahmen äußern sich am stärksten bei den Strahlungsflüssen, die durch die Kronenüberschirmung beeinflusst werden. Bei der bodennahen Lufttemperatur sind die Auswirkungen von starken Durchforstungen jedoch nur etwa halb so groß wie die expositionsbedingten Unterschiede.

MICROCLIMATE IN BEECH STANDS AT OPPOSITE SLOPES IN THE ‘SCHWÄBISCHE ALB’ REGION

ABSTRACT

SFB 433 is a collaborative research project aiming at investigating the influence of climate and forest management on beech dominated deciduous forests. Within the framework of this collaborative research, the Meteorological Institute, University of Freiburg, is currently operating five micrometeorological stations at the SFB investigation areas near Möhringen (Schwäbische Alb, south-west Germany). Four of these stations are located in the trunk space of beech stands

stocking at two slopes with different exposition (NE and SW) and forest management (central investigation areas). The fifth micrometeorological station is used for carrying out temporally limited measurements in the trunk space of beech stands at other investigation areas (satellite areas). By use of two towers, the height of which is approximately one and a half times that of the beech stands, meteorological measurements within the canopy layer and above the beech stands are carried out on the central investigation areas on the NE and the SW slope, both of which are oppositely situated.

Preliminary results from meteorological measurements in the trunk space show a pronounced influence of both exposition and management on the microclimate in beech stands, especially for radiative fluxes of PAR, UV-A and UV-B. The different exposition (NE and SW) of the investigation slopes apparently modifies the diurnal courses of the radiative fluxes resulting in different input of energy on the slopes. This has impact on other meteorological parameters, e.g., air temperature. Various forest management influences most intensely those radiative fluxes which are dependent on the crown layer. With respect to air temperature, the effects of strong thinning are only half as high as those due to different expositions

1 EINLEITUNG

Die Rotbuche ist in großen Teilen Mitteleuropas heimisch. Ihr Verbreitungsgebiet umfasst sowohl das ozeanische als auch das subkontinentale Klima. An vielen extremen Standortklimaten kann sich

die Buche erfolgreich behaupten (ELLENBERG, 1996). Auf nassen und sehr trockenen Standorten oder bei unausgeglichem Wasserhaushalt wird die Buche allerdings von anderen Baumarten verdrängt. Bei Waldbaupraktikern gelten buchendominierte Wälder als „stabil“ (MÜLDER, 1982; WEIDENBACH, 1991; SCHERZINGER, 1996), aber die Differenzen zwischen der in Ertragstafeln dokumentierten Erfahrung und den tatsächlichen Erträgen deuten auf langfristige Veränderungen des Systems „Buchenwald“ hin (SPIECKER *et al.*, 1996).

Eine wichtige Ursache für diese Veränderungen könnten globale und regionale Klimaänderungen sein, die von verschiedenen Klimamodellen prognostiziert (u.a. HOUGHTON *et al.*, 1996; WMO, 1999) und deren Resultate – zumindest bei Lufttemperatur und Niederschlag - bereits durch Resultate langfristiger Messungen belegt werden (BELL *et al.*, 2000; PARKER *et al.*, 2000). Daher stellt sich die Frage, inwieweit die ausgedehnten buchendominierten Laubwälder auf Veränderungen ihres Standortklimas reagieren oder ob die Buche an dann z.B. trockeneren Standorten von anderen (Laub-)Baumarten verdrängt wird. Hier spielt auch die Bewirtschaftung von Wäldern durch die Forstwirtschaft eine große Rolle, denn einerseits verändert die forstliche Bewirtschaftung über Eingriffe in den Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt die mikroklimatischen Bedingungen für den Bestand und andererseits ist ein Bestand an Extremstandorten nicht mehr wirtschaftlich zu nutzen.

Vor diesem Hintergrund wurde Anfang des Jahres 1999 an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg der Sonderforschungsbereich (SFB) 433 „Buchendominierte Laubwälder unter dem Einfluss von Klima und Bewirtschaftung: Ökologische, waldbauliche und sozialwissenschaftliche Analysen“ eingerichtet. Eine Zielsetzung innerhalb des Teilprojektes A1 im SFB 433, das vom Meteorologischen Institut der Universität Freiburg durchgeführt wird, ist die quantitative Analyse der Einflüsse von Exposition (*Standortklima*) und Bewirtschaftung, d.h. unterschiedlicher Überschirmung (*Mikroklima*), auf Klimavariablen sowie Komponenten von Strahlungswärme- und Wasserhaushalt von Buchenwäldern (HOLST et al., 2000).

2 METHODEN

Um die Zielsetzungen zu erreichen, erfolgen experimentelle Untersuchungen in verschiedenen Kalkbuchenwäldern am gemeinsamen SFB-Standort Möhringen auf der Schwäbischen Alb in Südwestdeutschland (Abb. 1). Dort wurden auf einem NO- und einem gegenüberliegenden SW-Hang unterschiedlich bewirtschaftete Kernflächen (Tab. 1) eingerichtet. Die Daten, die zur Analyse der lokalen mikroklimatischen Bedingungen auf den unterschiedlichen Kernflächen erforderlich sind, werden seit September 1999 über geeignete mikrometeorologische Bodenstationen (Abb. 2) im Stammraum auf den Kernflächen

** K1.1.0 (Kontrollfläche mit NO-Exposition),

** K1.2.2 (starker Schirmhieb mit NO-Exposition),

** K2.2.0 (Kontrollfläche mit SW-Exposition),

Untersuchungsgebiet Möhringen - Talausschnitt mit Untersuchungsflächen

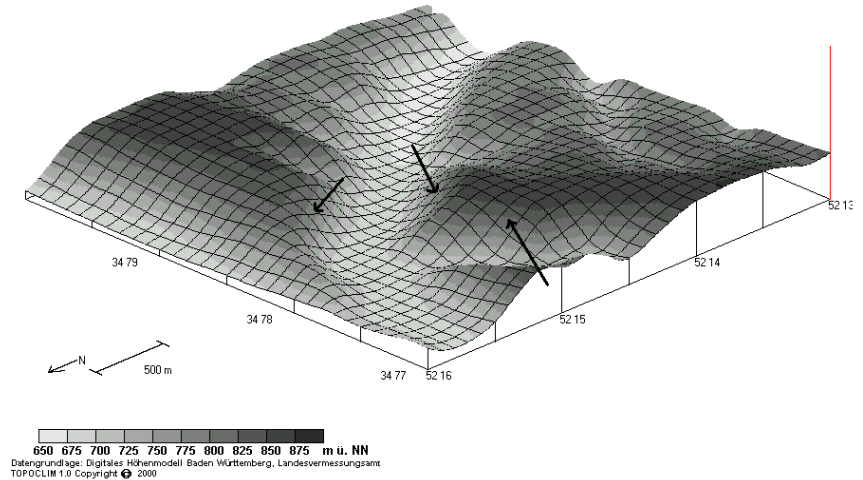


Abb. 1: Untersuchungsgebiet Möhringen (1.5-fache Geländeüberhöhung) mit Lage der Untersuchungsflächen auf dem K1- (NO) Hang (mittlerer Pfeil), K2- (SW) Hang (linker Pfeil) und dem S- (NW) Hang (rechter Pfeil)

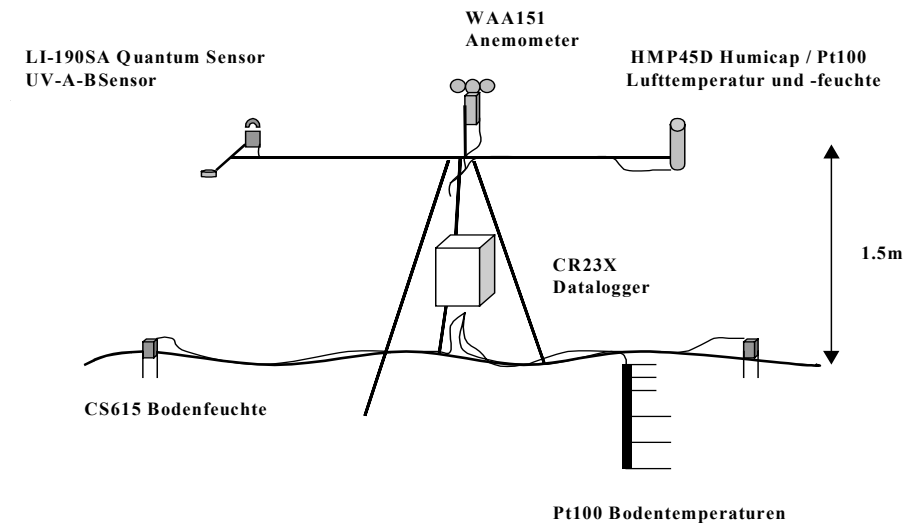


Abb. 2: Schematischer Aufbau der eingesetzten mikrometeorologischen Bodenstationen (aus HOLST et al., 2000)

** K2.1.2 (starker Schirmhieb mit SW-Exposition)

kontinuierlich gemessen (HOLST et al., 2000). Zusätzlich werden dieselben Parameter durch eine weitere Bodenstation auf nahen Satellitenflächen (S-Flächen) unterschiedlicher Exposition umlaufend erhoben. Außerdem wird in ca. monatlichem Abstand die Entwicklung der Überschirmung des Waldbodens über den Bodenstationen durch Fish-eye Aufnahmen dokumentiert, aus denen sich mit Hilfe des Modells RayMan (MATZARAKIS et al., 2000) der lokale *Sky View Factor* ableiten lässt (Tab. 2).

Tab. 1: Grundflächen G (in m^2/ha) auf den untersuchten Kernflächen am Standort Möhringen

Hang	Kernfläche	G
Nordost	K1.1.0	27.02
Nordost	K1.2.2	11.39
Südwest	K2.2.0	20.96
Südwest	K2.1.2	10.42

Tab. 2: Lokaler Sky View Factor SVF an den Bodenstationen auf den untersuchten Kernflächen am Standort Möhringen (Grundlage: Fish-eye Aufnahmen in der belaubten Phase 2000 und laubfreien Phase 2000/2001)

Hang	Kernfläche	Zustand	SVF
Nordost	K1.1.0	Hang	0.825
		laubfrei	0.293
		belaubt	0.085
Nordost	K1.2.2	Hang	0.847
		laubfrei	0.497
		belaubt	0.341
Südwest	K2.2.0	Hang	0.805
		laubfrei	0.391
		belaubt	0.109
Südwest	K2.1.2	Hang	0.802
		laubfrei	0.372
		belaubt	0.299

An den Bodenstationen werden alle 30 Sekunden die Lufttemperatur (T_a), relative Luftfeuchtigkeit (RH), Windgeschwindigkeit (v) sowie die drei Strahlungsflüsse UV-A, UV-B und PAR in ca. 1.5 m Höhe über Grund, Bodentemperaturen in 1 cm, 3 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm und 40 cm Tiefe, die Bodenfeuchte mit 2 Sensoren in der Schicht zwischen der Bodenoberfläche und 30 cm Tiefe sowie der Kronendurchlass über eine genormte Regenrinne mit anschließender Kippwaage erfasst. Alle Messwerte werden über einen Datalogger zu 30 Minuten-Mittelwerten aggregiert (Kronendurchlass: 30 Minuten-Summen) und gespeichert. Weiterhin wird pro Station der Stammabfluss von 5 Probebäumen über Manschetten in

Sammelbehälter geleitet, die mindestens einmal wöchentlich, bei Bedarf häufiger, geleert werden.

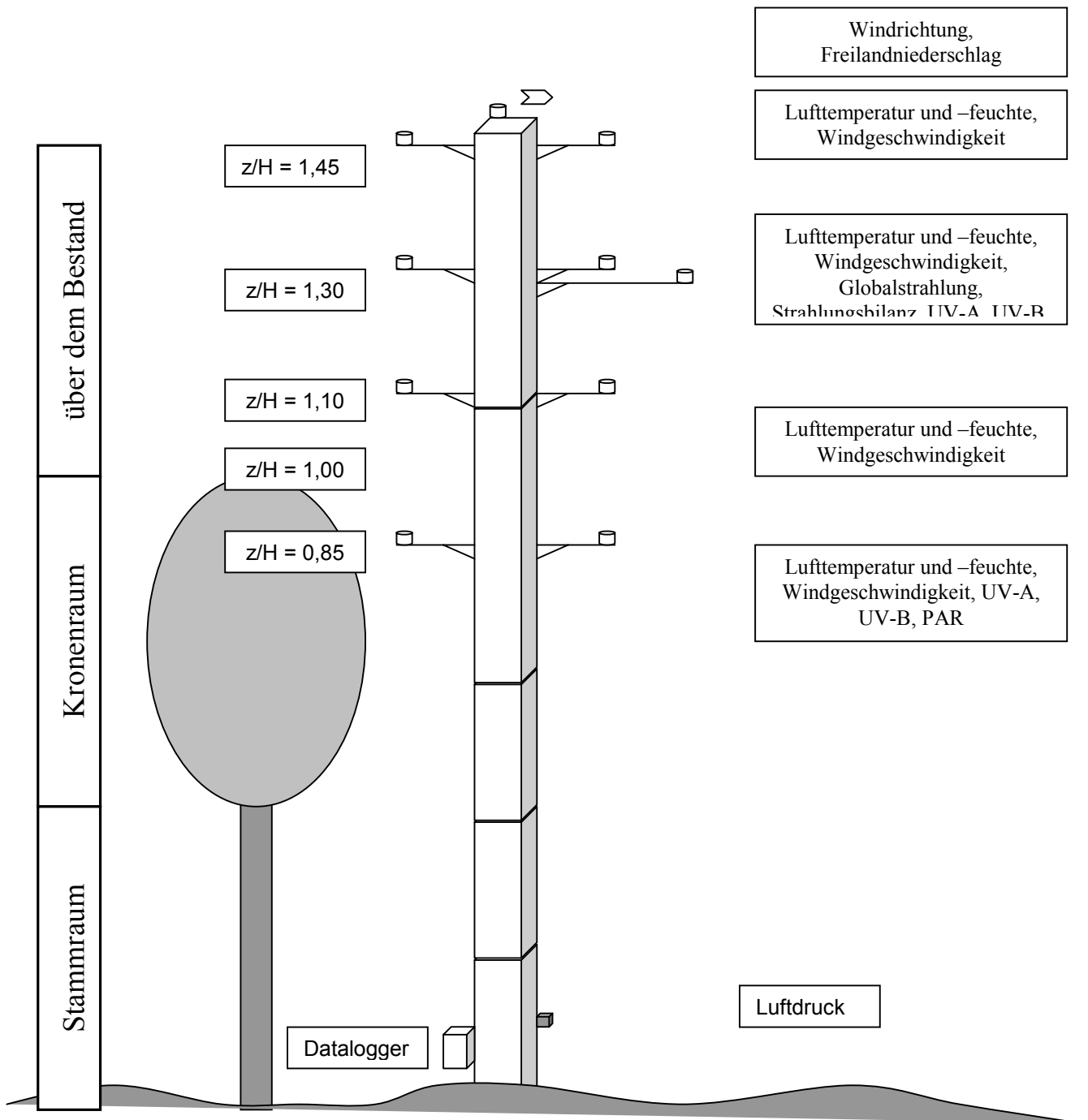


Abb. 3: Schematischer Aufbau der meteorologischen Messtürme mit Messwertgebern für Klimavariablen in verschiedenen relativen Höhen z/H (H : Bestandeshöhe)

Für meteorologische Messungen über dem Bestand und im Kronenraum bzw. für meteorologische Profilmessungen wurde auf den unbehandelten Kontrollflächen K1.1.0 (NO-Exposition) und K2.2.0 (SW-Exposition) im Frühsommer 2000 jeweils ein Messturm mit der etwa 1.5-fachen Bestandeshöhe (42 m), d.h. innerhalb der *Roughness Sublayer* über dem Bestand, aufgestellt (Abb. 3). Dort werden seit dem Herbst 2000 in vier Höhen in und über dem Bestand die Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit gemessen. In zwei Höhen (in und über dem Bestand) sind die Messwertgeber für die Strahlungsflüsse UV-A, UV-B und PAR, oberhalb des Bestandes auch für die Strahlungsbilanz, befestigt. An der Spitze der 42 m hohen Messtürme werden zusätzlich die Windrichtung und der Freilandniederschlag gemessen. Am Fuß der Messtürme ist ein Sensor für den Luftdruck installiert; diese Größe wird zur Berechnung von abgeleiteten Temperatur- und Feuchtemaßen benötigt. Die Aufzeichnung der meteorologischen Daten der Messtürme erfolgt wie bei den Bodenstationen über Datalogger, die alle 30 Sekunden Messungen vornehmen, die Messdaten zu 30 Minuten-Mittelwerten (Freilandniederschlag: 30 Minuten-Summen) zusammenfassen und speichern.

3 ERGEBNISSE

Die hier diskutierten Ergebnisse beziehen sich auf Klimavariablen, die an den Bodenstationen gemessen wurden, weil dieses Datenkollektiv, im Gegensatz zu den Klimavariablen von den

Messtürmen, bereits einen ausreichenden Zeitraum für das Aufzeigen von Tendenzen umfasst.

3.1 Einfluss der unterschiedlichen Exposition

Der primäre Eintrag von Energie erfolgt auf den Kernflächen durch die Globalstrahlung G . Ihr Betrag im Gelände hängt von verschiedenen Faktoren ab: Sonnenhöhe, Trübung der Atmosphäre, Art der Bewölkung, Bedeckungsgrad des Himmels, Tageslänge und reliefbedingte Horizonteinengungen (abhängig von Hangrichtung, Hangneigung und Art der Oberflächenstrukturen). Zusätzlich wird G am Waldboden durch Löcher im Kronendach durchgelassen, sonst aber durch das Kronendach teilweise absorbiert, reflektiert und transmittiert.

Die auf die Kernflächen K1 und K2 treffende Globalstrahlung ist aufgrund der verschiedenen Hangexpositionen unterschiedlich groß. Der K1-Hang ist NO exponiert (mittlere Hangrichtung: 60°); das Maximum von G tritt zur Mittagszeit auf. Der K2-Hang ist SW exponiert (mittlere Hangrichtung: 240°), was das Maximum von G auf die frühen Nachmittagsstunden verschiebt. Beide Hänge unterscheiden sich ferner durch ihre Hangneigung (K1-Hang: ca. 23° ; K2-Hang: ca. 30°). Daraus folgt, dass G auf dem K2-Hang im Mittel höher auf dem K1-Hang ist, da der steilere K2-Hang eine größere Zenitdistanz aufweist.

Die grundlegende Bedeutung von G liegt im Strahlungs- und Wärmehaushalt. Die photosynthetisch aktive Strahlung PAR, d.h. der mit dem Absorptionsspektrum der Photosynthese gewichtete Anteil

von G im Wellenlängenbereich zwischen 400 und 700 nm, hat neben der Wärmewirkung (PAR als Energieflussdichte) vor allem eine biologische Wirkung (PAR als Photonenflussdichte). Der Anteil von PAR (als Energieflussdichte) an G hängt von Standort, Jahreszeit, Lufttrübung und meteorologischen Bedingungen ab. Daraus resultieren unterschiedliche Werte für PAR/G, z.B. LANGHOLZ und HÄCKEL (1985): PAR/G \approx 28 %, PAPAIOANNOU *et al.* (1993) für Athen: PAR/G \approx 47 %, ZHANG *et al.* (2000): PAR/G \approx 44 %.

Als exemplarische Ergebnisse zum Expositionseinfluss enthält die Abb. 4 mittlere Tagesgänge von PAR in 1.5 m Höhe über Grund auf den Flächen K1.1.0 und K1.2.2 im Vergleich zu denjenigen auf den Flächen K2.2.0 und K2.1.2. Grundlage sind PAR-Messwerte im Februar 2000, d.h. in der laubfreien Phase der Buchenbestände.

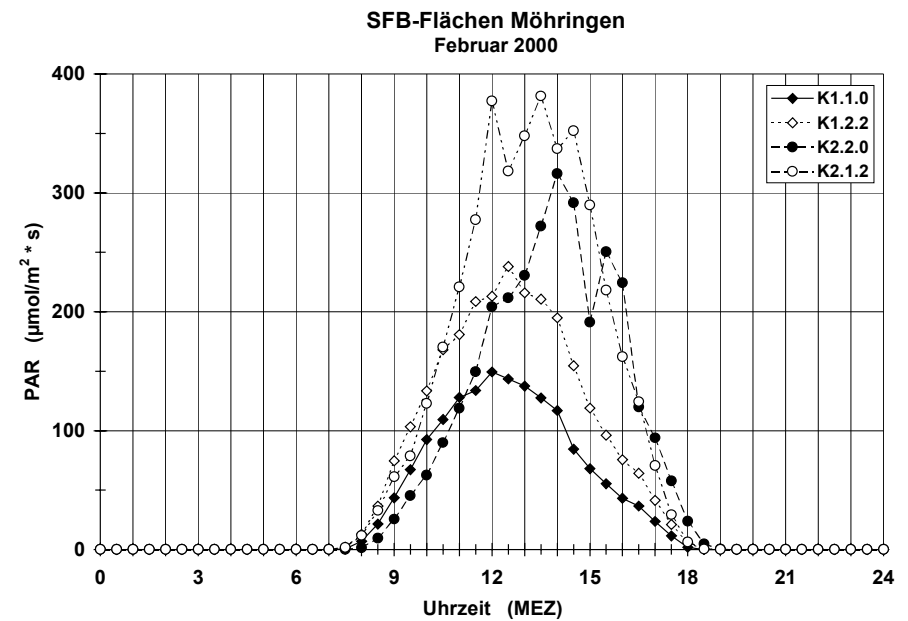


Abb. 4: Halbstunden-Mittelwerte der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) im Februar 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

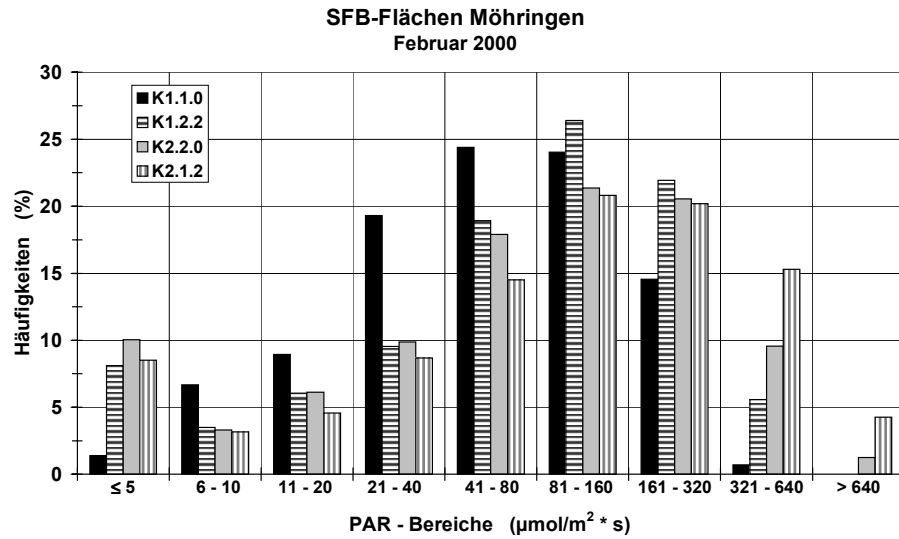


Abb. 5: Häufigkeitsverteilungen von Halbstunden-Mittelwerten der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) im Februar 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

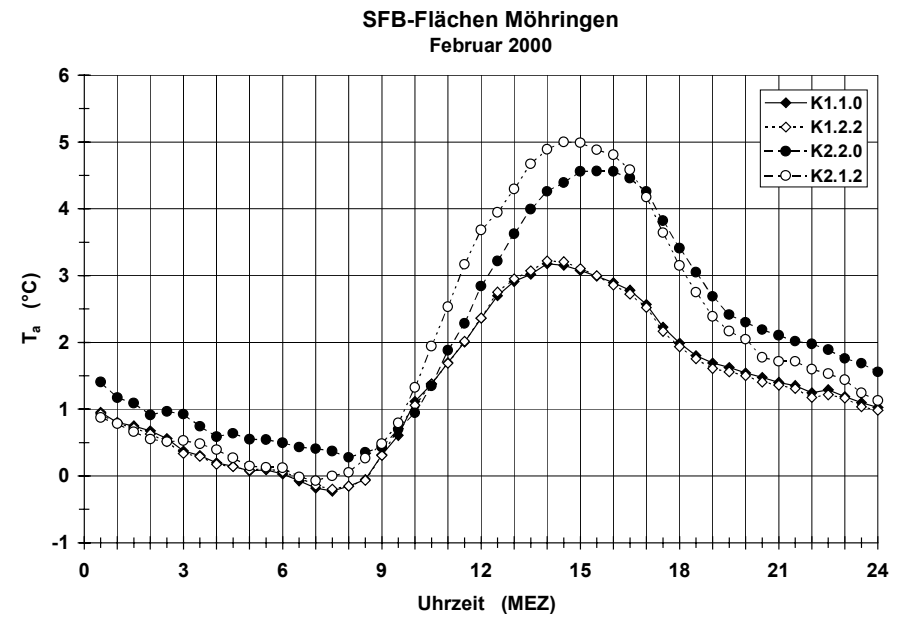


Abb. 6: Mittlere Tagesgänge (Halbstunden-Mittelwerte) der Lufttemperatur T_a (in 1.5 m Höhe über Grund) im Februar 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

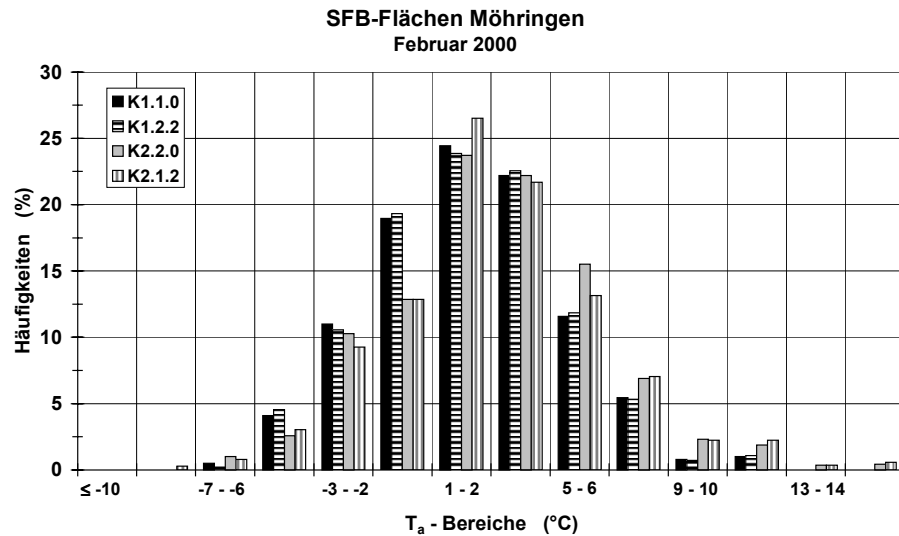


Abb. 7: Häufigkeitsverteilungen von Halbstunden-Mittelwerten der Lufttemperatur T_a (in 1.5 m Höhe über Grund) im Februar 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Daraus lässt sich erkennen, dass auf beiden Flächen des NO exponierten K1-Hanges die Tagesmaxima von PAR zeitlich vor den Vergleichswerten auf den Flächen des SW exponierten K2-Hanges lagen, die jedoch höhere Beträge erreichten. Aufgrund der laubfreien Phase waren die Unterschiede zwischen den starken Schirmhieb- und Kontrollflächen auf den jeweiligen Hängen nicht besonders ausgeprägt. Bei höheren PAR-Bereichen weisen die Kernflächen am K2-Hang höhere Häufigkeiten als am K1-Hang auf (Abb. 5), wobei zunehmend die PAR-Häufigkeiten auf der starken Schirmhiebfläche dominieren. Dort deuten sich also neben den expositionsbedingten

auch bewirtschaftungsbedingte Unterschiede an. Auffällig sind noch die vergleichsweise hohen Häufigkeiten in den mittleren Bereichen von PAR auf der unbehandelten Kontrollfläche am K1-Hang.

Da Luft- und Bodentemperatur über den Energieaustausch an der Bodenoberfläche eng an die Strahlungsumsätze gekoppelt sind, reagieren diese thermischen Größen auf expositionsbedingte Unterschiede der Globalstrahlung. Am Beispiel der mittleren Tagesgänge und Häufigkeiten der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund im Februar 2000 (Abb. 6 und 7) folgt.

** Das Maximum trat auf dem K1-Hang (NO) deutlich früher als auf dem K2-Hang (SW) ein.

** Auf dem K2-Hang war die mittlere Tagesamplitude von T_a (mehr als 4.5 °C) signifikant größer als auf dem K1-Hang (etwa 3.5 °C).

** T_a lag auf dem K2-Hang in den Nachmittagsstunden um etwa 1.5 °C höher als auf dem K1-Hang.

** Die mittleren T_a -Tagesgänge belegen die Dominanz des Expositionseinflusses in der laubfreien Phase. Sie zeigt sich auch bei den Häufigkeitsverteilungen in den meisten T_a -Bereichen.

3.2 Einfluss der forstlichen Behandlung

Die bisher erzielten Messergebnisse im Bodenniveau weisen nicht nur mikrometeorologische Unterschiede infolge verschiedener Exposition der Versuchsfelder auf, sondern auch aufgrund der unterschiedlichen Hiebsmaßnahmen auf den Versuchspartellen, die

zu Veränderungen in der Überschirmung durch das Kronendach führten. Diese Unterschiede deuten sich bereits in den Abb. 3 bis 5 für die laubfreie Phase an; sie treten jedoch während der belaubten Phase im Sommerhalbjahr klarer hervor.

So überschritten die mittleren monatlichen Tagesgänge von PAR im August 2000 (Abb. 8) auf der Kontrollfläche K1.1.0 kaum $30 \mu\text{mol}/\text{m}^2 * \text{s}$. Auf der Kontrollfläche 2.2.0 lagen sie – mit einer Ausnahme - unter $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2 * \text{s}$. Auf den starken Schirmhiebflächen waren die mittleren Maxima von PAR deutlich größer. Sie erreichten ca. $800 \mu\text{mol}/\text{m}^2 * \text{s}$ auf der Fläche K1.2.2 und ca. $650 \mu\text{mol}/\text{m}^2 * \text{s}$ auf der Fläche K2.1.2. Diese differierenden PAR-Maxima resultieren aus der geringeren Kronendachüberschirmung in der belaubten Phase auf der Fläche K1.2.2, die sich dort in einem höheren *Sky View Factor* als auf der Fläche K2.1.2 widerspiegelt (Tab. 2).

Die Spitzenwerte von PAR, die die unregelmäßigen mittleren Tagesgänge von PAR, insbesondere auf den starken Schirmhiebflächen, kennzeichnen, wurden durch den direkten Anteil an PAR hervorgerufen, der durch Lücken im Kronendach auf die ortsfesten Messwertgeber traf. Unter Berücksichtigung der Abb. 4 und 5 für die laubfreie Phase zeigt sich in den Abb. 8 und 9, dass in der belaubten Phase die expositionsbedingten PAR-Unterschiede wesentlich kleiner als die Effekte auf PAR durch verschiedene Bewirtschaftungen bzw. Überschirmungen waren.

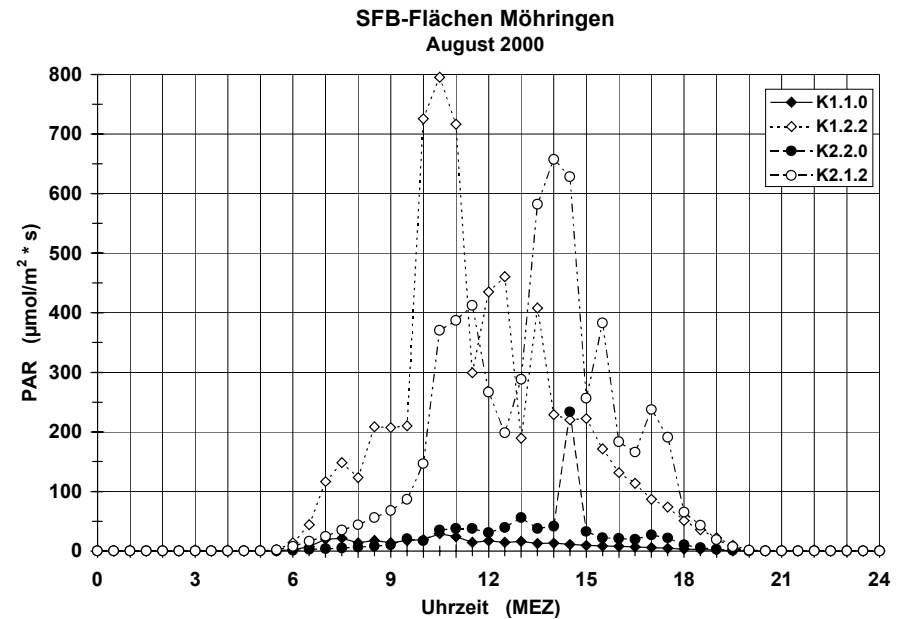


Abb. 8: Halbstunden-Mittelwerte der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) im August 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

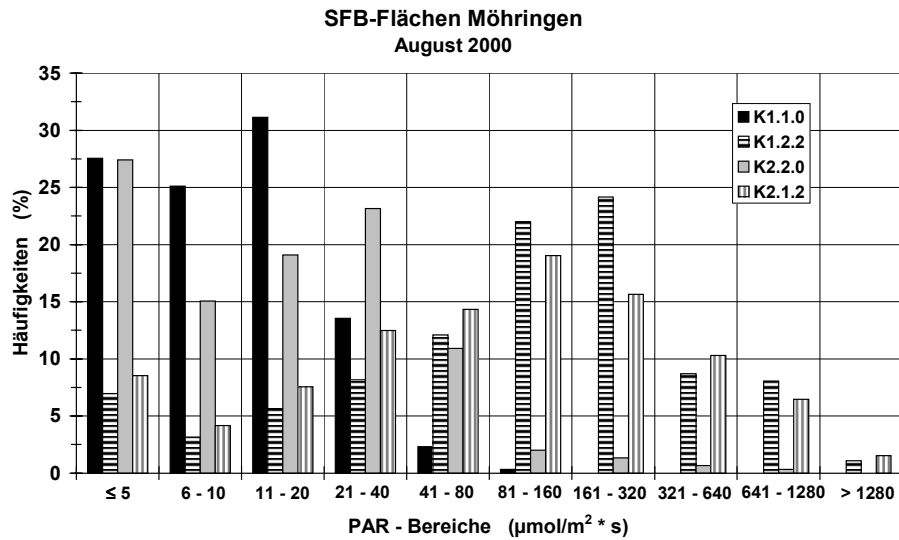


Abb. 9: Häufigkeitsverteilungen von Halbstunden-Mittelwerten der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) im August 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

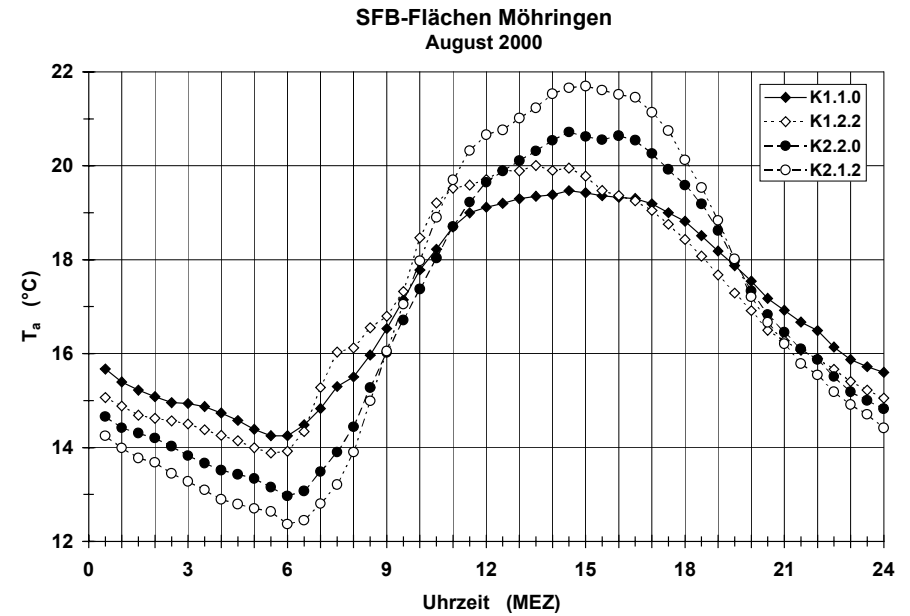


Abb. 10: Mittlere Tagesgänge (Halbstunden-Mittelwerte) der Lufttemperatur T_a (in 1.5 m Höhe über Grund) im August 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

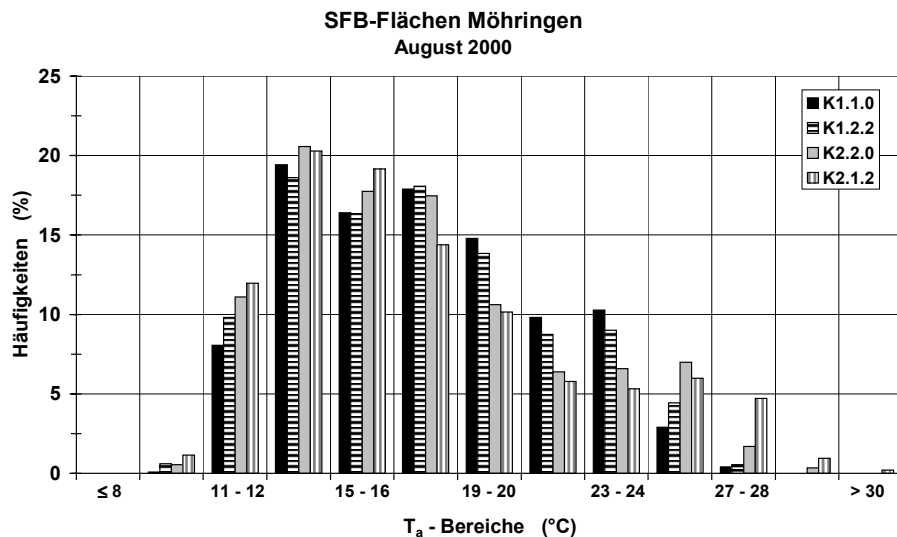


Abb. 11: Häufigkeitsverteilungen von Halbstunden-Mittelwerten der Lufttemperatur T_a (in 1.5 m Höhe über Grund) im August 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Bei den mittleren Tagesgängen der Lufttemperatur T_a in 1.5 m Höhe über Grund im August 2000 (Abb. 10) zeigt sich:

** Die Amplituden auf den K1-Flächen waren kleiner als auf den K2-Flächen. Nachts lagen die T_a -Werte auf den K2-Flächen um maximal 2 °C unter den T_a -Werten auf den K1-Flächen; tagsüber verhielt es sich umgekehrt und die T_a -Werte auf den K2-Flächen waren um maximal ca. 2 °C höher.

** Auf beiden Hängen waren nachts die T_a -Werte auf den starken Schirmhiebflächen infolge größerer effektiver Ausstrahlung niedriger

als auf den Kontrollflächen, während tagsüber die stärkere Globalstrahlung zu höheren T_a -Werten auf den starken Schirmhiebflächen führte.

** Die expositionsbedingten T_a -Unterschiede waren um den Faktor 2 bis 3 größer als die bewirtschaftungsbedingten T_a -Unterschiede.

In den Häufigkeitsverteilungen von T_a -Bereichen (Abb. 11) lassen sich ebenfalls die dominierenden Expositionseffekte auf T_a erkennen. Sie sind, wie auch die geringeren bewirtschaftungsbedingten Einflüsse, in den einzelnen T_a -Bereichen unterschiedlich ausgeprägt.

3.3 Zusammenwirken der Einflüsse von Exposition und Bewirtschaftung

Die in den vorangehenden Fallstudien getrennt analysierten Einflüsse von Exposition und Bewirtschaftung zeigen sich in ihrer Kombinationswirkung deutlicher bei länger aggregierten Mittelwerten von Klimavariablen, die an den Bodenstationen gemessen werden. Exemplarisch dafür sind in den Abb. 12 bis 14 die Monatsmittelwerte von PAR, der Bodentemperatur in 3 cm Tiefe (T_{g3}) und von T_a im Zeitraum September 1999 bis August 2000 zusammengestellt.

In den Wintermonaten (laubfreie Phase) war der Einfluss der Exposition auf die Monatsmittelwerte von PAR entscheidend; in den Sommermonaten (belaubte Phase) dominierte hingegen der Einfluss der Bewirtschaftung (Abb. 12). Diese Tendenz zeigte sich auch für T_{g3} (Abb. 13). Bei T_a hingegen war der Einfluss der Exposition ausgeprägter (Abb. 14), weil die Auswirkungen der unterschiedlichen

Bewirtschaftung auf die Globalstrahlung bei Tag und die effektive Ausstrahlung in der Nacht in Monatsmittelwerten nivelliert wurden.

Aus kumulativen Summen von PAR im gesamten Jahr 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen (Abb. 15) läßt sich die Wirkung von Blattentfaltung und Blattfall der Rotbuchen auf PAR über dem Waldboden erkennen. Die Blattentfaltung fand im Zeitraum vom 25. April 2000 bis zum 9. Mai 2000 statt und bewirkte auf den Kontrollflächen an beiden Hängen eine deutliche Verringerung in der Steigung der PAR-Kurven. Hingegen verursachte der Blattfall der Rotbuchen, der Ende Oktober / Anfang November 2000 erfolgte, eine leichte Erhöhung der Steigung der PAR-Kurven auf den Kontrollflächen. Dieser Effekt, der durch die jahreszeitlich bedingte Abnahme von PAR überlagert wurde, kann in ganz abgeschwächter Form auch bei den starken Schirmhiebflächen festgestellt werden.

3.4 Regressionsanalysen zu den Strahlungsflüssen im Bestandesraum

Mit PAR sowie der UV-A und der UV-B Strahlung wird an den Bodenstationen die kurzwellige Einstrahlung in verschiedenen Wellenlängenbereichen (PAR: 400-700 nm, Licor LI-190SZ Quantum Sensor; UV: UV-AB-71-Sensor, Fa. Walz, UV-A: 310-400 nm, UV-B: 265-315 nm (erythemgemittelt), maximale spektrale Empfindlichkeit bei 335 nm bzw. 297 nm) kontinuierlich gemessen. Dabei wird PAR, wie bereits erwähnt, als Photonenflussdichte erfasst.

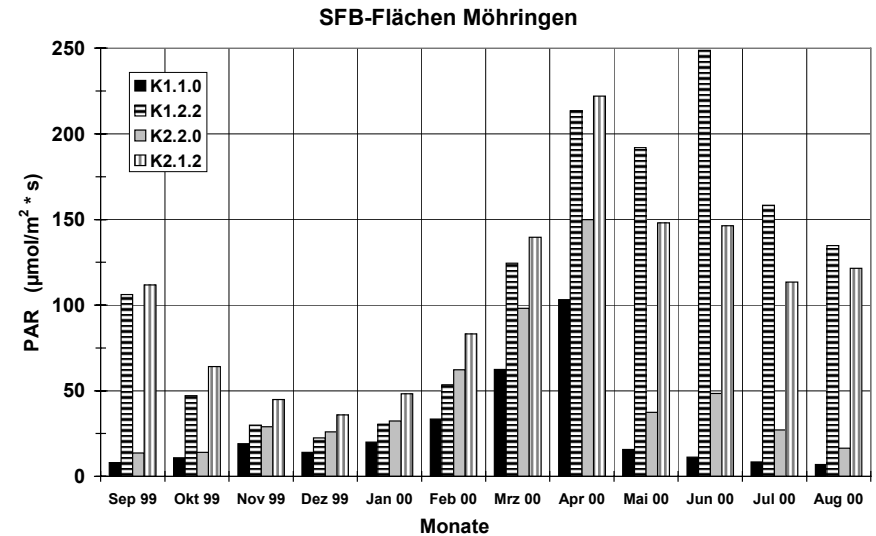


Abb. 12: Monatsmittelwerte der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

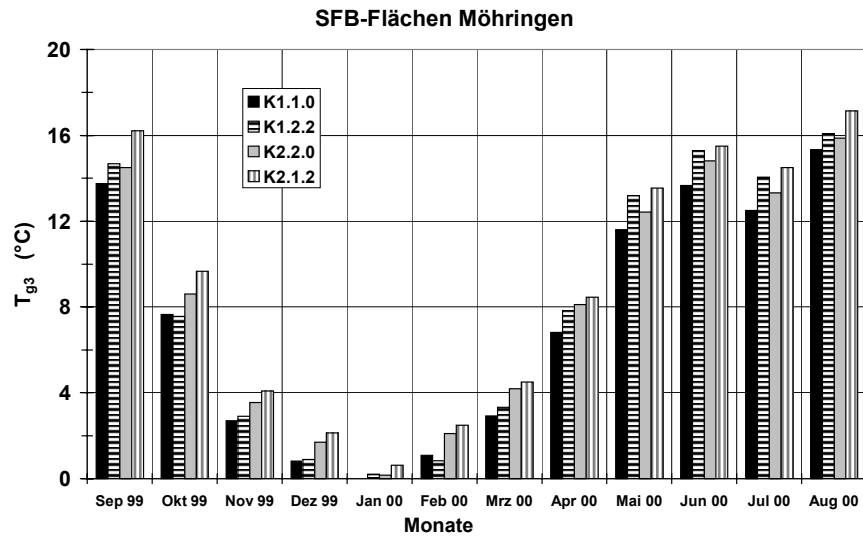


Abb. 13: Monatsmittelwerte der Bodentemperatur T_{g3} in 3 cm Tiefe auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

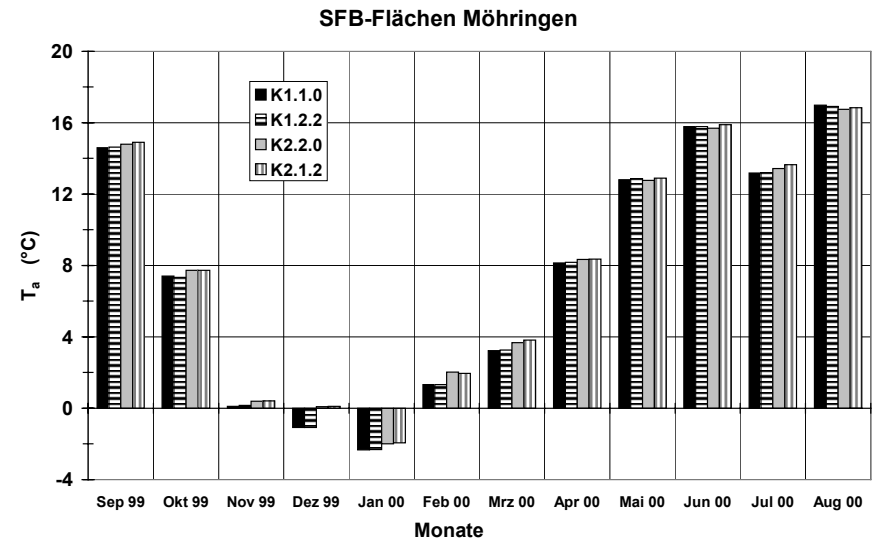


Abb. 14: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur T_a (in 1.5 m Höhe über Grund) auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

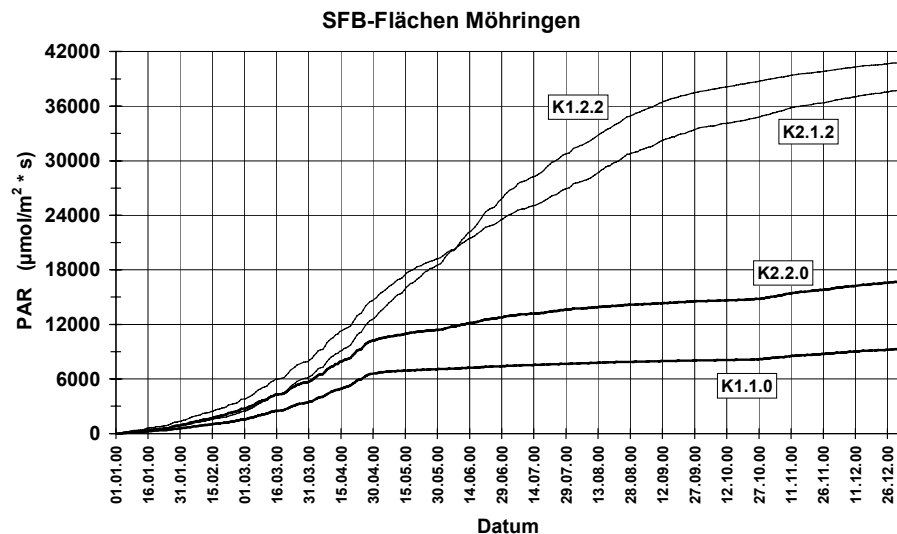


Abb. 15: Kumulative Summen der Tagesmittelwerte der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) vom 1. Januar 2000 bis zum 31. Dezember 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Obwohl die eingesetzten Messwertgeber für die kurzwelligen Strahlungsflüsse verhältnismäßig breitbandig sind, kann die Wellenlängenabhängigkeit der Transmission von kurzwelliger Strahlung durch das Kronendach von Buchen (u.a. Ross, 1975) aus dem Vergleich der Regressionskoeffizienten a_1 bis a_3 der linearen Regressionsbeziehungen zwischen diesen Strahlungsflüssen in der laubfreien und belaubten Phase abgeleitet werden (Tab. 3). Bis auf

wenige Ausnahmen sind die Bestimmtheitsmaße R^2 der Regressionsbeziehungen relativ hoch.

Tab. 3: Lineare Regressionsbeziehungen zwischen PAR (in $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$), UV-A (in W/m^2) und UV-B (in mW/m^2) Strahlung im Februar 2000 (unbelaubte Phase) und August 2000 (belaubte Phase) auf Kernflächen am Standort Möhringen (Grundlage: mittlere monatliche Halbstundenmittelwerte); R^2 : Bestimmtheitsmaß

	Februar 2000				August 2000			
	NO-Hang		SW-Hang		NO-Hang		SW-Hang	
	K1.1.0	K1.2.2	K2.2.0	K2.1.2	K1.1.0	K1.2.2	K2.2.0	K2.1.2
PAR = a_1 * UV-A;	36.025	35.884	45.712	48.612	36.301	42.379	53.536	52.568
a_1 :								
R^2 :	0.979	0.987	0.968	0.988	0.823	0.945	0.961	0.957
PAR = a_2 * UV-B;	13.004	12.111	17.353	17.516	10.749	12.874	15.850	15.459
a_2 :								
R^2 :	0.964	0.978	0.950	0.979	0.722	0.899	0.917	0.928
UV-B = a_3 * UV-A;	2.747	2.945	2.609	2.761	3.242	3.225	3.279	3.358
a_3 :								
R^2 :	0.991	0.991	0.992	0.994	0.974	0.987	0.986	0.993

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die ersten Resultate der mikrometeorologischen Messungen auf den SFB-Untersuchungs-flächen bestätigen die Hypothese, dass sich in den Stammräumen der Buchenbestände auf den unterschiedlich exponierten Hängen, die zudem verschieden bewirtschaftet wurden, spezifische Mikrokimate ausbilden, die durch ihre jeweiligen Strahlungs-, Wärme und Wasserhaushalte geprägt sind. Zusammenfassend lässt sich festhalten:

** Die Ergebnisse der bisherigen mikrometeorologischen Messungen auf den Kernflächen zeigen deutlich den Einfluss sowohl von Expositionsunterschieden der beiden Versuchshänge K1 (NO-Exposition) und K2 (SW-Exposition) als auch die Auswirkungen der verschiedenen forstlichen Behandlungen auf das Mikroklima im Stammraum der Buchenbestände. Dieser Einfluss ist bei den Strahlungsflüssen am ausgeprägtesten.

** Bei den Strahlungsflüssen UV-A, UV-B und PAR dominieren in der belaubten Phase die bewirtschaftungsbedingten Unterschiede, die in unterschiedlichen Übershirmungen resultieren, deutlich gegenüber den expositionsbedingten. In der laubfreien Phase hingegen überwiegt der Einfluss der Exposition.

** Sowohl die Bodentemperatur als auch die Lufttemperatur weisen Abhängigkeiten von Behandlungs- und Expositionsunterschieden auf. Dabei ist bei der Lufttemperatur der Einfluss der Exposition stärker ausgeprägt, während die Bodentemperatur tendenziell mehr von der Behandlung bzw. Übershirmung abhängt. Hier machen sich die unterschiedlichen Formen des Energietransports in Luft (turbulenter Luftmassenaustausch mit advektiven Hangwinden) und Boden (molekularer Wärmetransport) bemerkbar.

ANMERKUNG

Für die finanzielle Förderung dieser Untersuchung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 433, Teilprojekt A1, wird vielmals gedankt.

LITERATUR

- Bell, G.D., M.S. Halpert, R.C. Schnell, R.W. Higgins, J. Lawrimore, V.E. Kousky, R. Tinker, W. Thiaw, M. Chelliah, A. Artusa, 2000: Climate assessment for 1999. - Bull. Amer. Meteor. Soc. **81**, S1-S50.
- ELLENBERG, H., 1996. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – Stuttgart, Ulmer Verlag.
- Holst, T., J. Rost, D. Schindler, A. Matzarakis, H. Mayer, 2000: Mikroklimatische Untersuchungen in südwestdeutschen Buchenbeständen. – Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 5, 123-135.
- Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell (eds.), 1996: Climate change 1995. IPCC, Cambridge, University Press.
- Langholz, H., H. Häckel, 1985: Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung und Korrelationen mit der Globalstrahlung. - Meteorol. Rdsch. **38**, 75-82.
- Matzarakis, A., F. Rutz, H. Mayer, 2000: Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. - In: Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the

- Millenium (ed. by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R. Oke and A. Auliciems): Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, 273-278.
- MÜLDER, D., 1982: Helft unsere Buchenwälder retten ! Ein Leitfaden für Bürgerinitiativen. – Stuttgart, DRW-Verlag.
- Ross, J., 1975: Radiative transfer in plant communities. In: Vegetation and the atmosphere, Vol. 1 (ed. by J.L. Monteith), London, Academic Press, 13-55.
- Parker, D.E., E.B. Horton, L.V. Alexander, 2000: Global and regional climate in 1999. – *Weather* **55**, 188-199.
- Papaioannou, G., N. Papanikolaou, D. Retalis, 1993: Relationships of photosynthetically active radiation and shortwave irradiance. - *Theor. Appl. Climatol.* **48**, 23-27.
- SCHERZINGER, W. 1996: Naturschutz im Wald. – Stuttgart, Ulmer Verlag.
- SPIECKER, H., K. MIELIKAINEN, M. KÖHL, J.P. SKOVSGAARD (eds.), 1996: Growth trends in European forests. - European Forest Research Institute, Research Report No. 5, Berlin, Springer-Verlag.
- WEIDENBACH, P. 1991: Walderneuerung auf Sturmwurfflächen. - *AFZ* **45**, 216-220.
- WMO, 1999: The global climate system in 1998. - *WMO Bulletin* **48**, 251-255.
- Zhang, X., Y. Zhang, Y. Zhou, 2000: Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. - *Agric. Forest Meteorol.* **102**, 207-212.