

## **Mikroklimatische Untersuchungen in südwestdeutschen Buchenbeständen**

Thomas Holst, Jutta Rost, Dirk Schindler, Andreas Matzarakis und Helmut Mayer

Meteorologisches Institut der Universität 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 Buchenbeständen, 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 Kronenschicht beeinflusst werden. Bei der bodennahen Lufttemperatur sind die Auswirkungen von starken Durchforstungen jedoch nur etwa halb so groß wie die expositionsbedingten Unterschiede. Die von September 1999 bis Mai 2000 erzielten Ergebnisse werden in Form von Monatsmittelwerten und kumulativen Summen präsentiert.

### **Microclimatic investigations in beech stands in south-west Germany**

#### **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 modify 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. Results of micro-meteorological measurements in the trunk space of beech stands obtained from the period September 1999 to May 2000 are presented as mean monthly values and cumulative sums.

## 1 Einleitung

Anfang des Jahres 1999 wurde 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.

Die Rotbuche ist in großen Teilen Mitteleuropas heimisch und ihr Verbreitungsgebiet umfasst sowohl das ozeanische als auch das subkontinentale Klima. An extremen Standortsklimaten kann sich die Buche erfolgreich behaupten (ELLENBERG, 1996). Auf nassen und sehr trockenen Standorten oder bei unausgeglichenem 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 die globalen anthropogenen Klimaänderungen sein, die von verschiedenen Klimamodellen prognostiziert werden (u.a. HOUGHTON *et al.*, 1996; WMO, 1999) und deren Resultate – zumindest bei Lufttemperatur und Niederschlag – bereits von langfristigen Messungen belegt werden können (BELL *et al.*, 2000; PARKER *et al.*, 2000). Unsicherheiten bestehen aber weiterhin hinsichtlich der regionalen Auswirkungen dieser globalen Klimaveränderungen.

Insofern stellt sich die Frage, inwieweit die ausgedehnten buchendominierten Laubwälder auf Veränderungen ihres Standortklimas reagieren können 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 auch 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.

Aufgabe des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg bei der zentralen Fragestellung des SFB 433, wie Klima und Bewirtschaftung Prozesse und Strukturen in buchendominierten Laubwaldökosystemen steuern, ist die quantitative Analyse des durch unterschiedliche Expositionen der Versuchsflächen simulierten „Klimagradienten“ und der aus forstliche Behandlungsvarianten resultierende Einfluss auf das Mikroklima.

## 2 Methoden

Im Rahmen des SFB 433 werden vom Meteorologischen Institut der Universität Freiburg meteorologische und forsthydrometeorologische Parameter in ihrer expositions- und bewirtschaftungsbedingten lokalen Differenzierung in verschiedenen Buchenbeständen am Standort Möhringen und auf Satellitenflächen über unterschiedliche experimentelle Verfahren kontinuierlich gemessen, zu Informationen über Klima und Witterung aggregiert und in davon abhängige Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalte zusammengefasst. Die zusätzliche Berücksichtigung aktueller Phänodaten ermöglicht den Bezug zu Strukturen und Prozessen in

Buchenbeständen. Auf der Basis des modellierten Wärmehaushalts lassen sich die für den SFB-Kernstandort Möhringen erzielten Ergebnisse für Buchenbestände unterschiedlicher Exposition und Bewirtschaftung regionalisieren.

Die forstmeteorologischen und forsthydrometeorologischen Daten, die zur Untersuchung der lokalen mikroklimatischen Bedingungen auf den unterschiedlich exponierten und waldbaulich behandelten Kernflächen erforderlich sind, werden über geeignete mikrometeorologische Bodenstationen (Abb. 1) im Stammraum auf den Kernflächen K1.1.0 (Kontrollfläche mit NO-Exposition) und K1.2.2 (starker Schirmhieb mit NO-Exposition) sowie K2.2.0 (Kontrollfläche mit SW-Exposition) und K2.1.2 (starker Schirmhieb mit SW-Exposition) kontinuierlich gemessen.

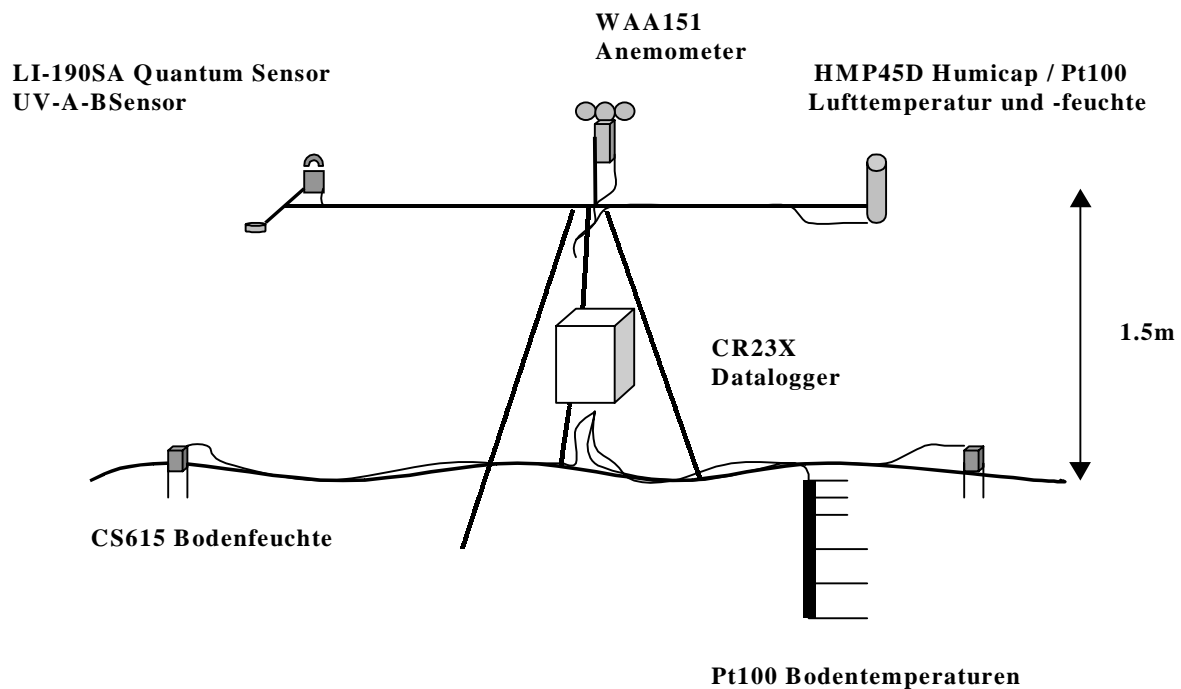


Abb. 1: Schematischer Aufbau der eingesetzten mikrometeorologischen Bodenstationen

*Fig. 1: Schematic assembly of the used micrometeorological stations*

Zusätzlich werden dieselben Parameter durch eine weitere Bodenstation auf den Satellitenflächen S1 (NNW-Exposition), S3 (S-Exposition) und S4 (NO-Exposition) umlaufend erhoben. Die Bodenstationen messen 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. Zusätzlich werden die 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 Probestämmen über Manschetten in Sammelbehälter geleitet, die mindestens einmal wöchentlich, bei Bedarf häufiger, geleert werden.

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) jeweils ein Messturm mit der etwa 1.5-fachen Bestandeshöhe, d.h. innerhalb der *Roughness Sublayer* über dem Bestand, aufgestellt (Abb. 2).

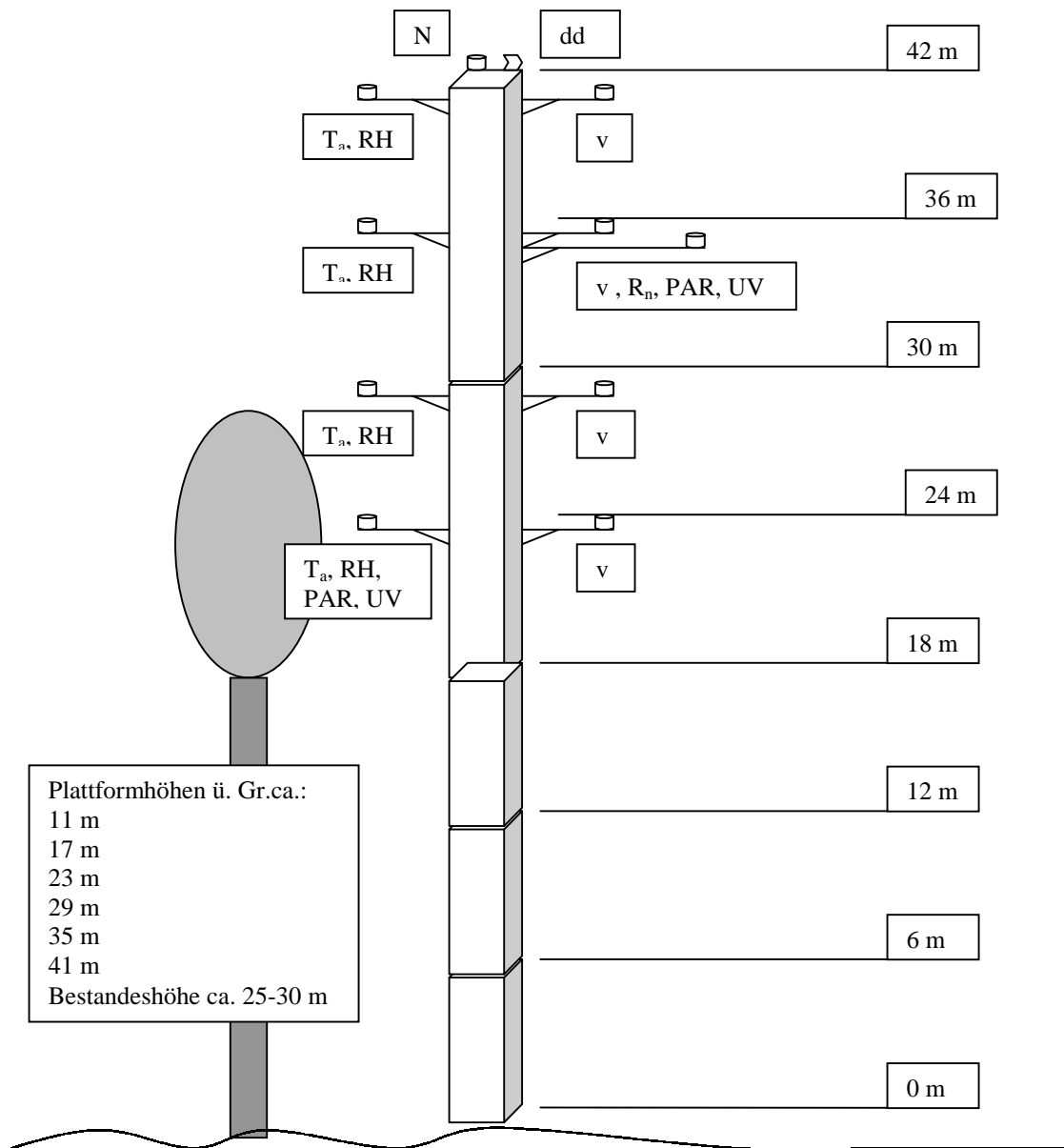


Abb. 2: Schematischer Aufbau der meteorologischen Messtürme mit den Messwertgebern für Lufttemperatur ( $T_a$ ), Luftfeuchtigkeit (RH), Windgeschwindigkeit ( $v$ ), Windrichtung ( $dd$ ), Freilandniederschlag ( $N$ ), Strahlungsflüsse PAR, UV-A und UV-B sowie Strahlungsbilanz ( $R_n$ )

Fig. 2: Schematic assembly of the meteorological towers installed with sensors for measuring air temperature ( $T_a$ ), air humidity (RH), wind speed ( $v$ ), wind direction ( $dd$ ), precipitation ( $N$ ), radiative fluxes PAR, UV-A and UV-B as well as net radiation ( $R_n$ )

Dort werden in vier Höhen im 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

Im Sommer 1999 wurden die vier mikrometeorologischen Bodenstationen auf den Kernflächen K1.1.0, K1.2.2, K2.2.0 und K2.1.2 in Betrieb genommen. Von ihnen bzw. ihren Standorten liegen seit September 1999 kontinuierlich aktuelle forstmeteorologische und forsthydrometeorologische Messdaten vor. Die fünfte analoge Bodenstation, die umlaufend auf den drei Satellitenflächen S1, S3 und S4 eingesetzt wird, liefert kontinuierlich seit Mai 2000 aktuelle Messdaten von der in vergleichbarer Höhenlage befindlichen Satellitenfläche S1 (NNW-Exposition). Die beiden meteorologischen Messtürme (aus Baukranteilen auf Beton-Fundamenten) wurden im Juni 2000 auf den Kernflächen K1.1.0 und K2.2.0 errichtet. Sie werden derzeit mit meteorologischen Messwertgebern ausgerüstet, so dass ab Herbst 2000 kontinuierlich forstmeteorologische und forsthydrometeorologische Daten aus dem Kronenraum und der *Roughness Sublayer* über den Beständen auf den beiden Kernflächen vorliegen werden.

Über die zur Zeit eingesetzten experimentellen Verfahren werden Unterschiede in den großklimatischen Bedingungen über die klimatischen Verhältnisse an den beiden gegensätzlich exponierten Hängen simuliert: Kontrollflächen: K1.1.0  $\Leftrightarrow$  K2.2.0  $\Leftrightarrow$  S1; starke Schirmhiebsflächen: K1.2.2  $\Leftrightarrow$  K2.1.2. Die durch Hiebsmaßnahmen unterschiedlichen Ausmaßes und folgende pflanzliche Entwicklungen beeinflussten mikroklimatischen Unterschiede zwischen den Beständen lassen sich durch eine vergleichende Analyse von Messergebnissen quantifizieren, die von Bodenstationen auf der Kontrollfläche und der starken Schirmhiebsfläche auf Hängen gleicher Exposition stammen: NO-Exposition: K1.1.0  $\Leftrightarrow$  K1.2.2; SW-Exposition: K2.2.0  $\Leftrightarrow$  K2.1.2.

#### 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 Horizonteneinengungen (abhängig von Hangrichtung, Hangneigung und Art der Oberflächenstrukturen). Zusätzlich wird G am Waldboden durch das Kronendach partiell abgeschattet. 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 in den Morgenstunden auf. Der K2-Hang ist SW exponiert (mittlere Hangrichtung: 240°), was das Maximum von G in den Nachmittagsstunden verursacht. 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. Auf der Basis eines digitalen Geländemodells läßt sich über astronomische Ansätze und unter Berücksichtigung der Luftrübung die flächendeckende Verteilung der Globalstrahlung, z.B. als Jahressumme, Summe über die Vegetationsperiode oder über noch kürzere Zeiträume, für das engere SFB-Untersuchungsgebiet berechnen.

Da die grundlegende Bedeutung von G im Strahlungs- und Wärmehaushalt liegt, die photosynthetisch aktive Strahlung PAR, d.h. der mit dem Absorptionsspektrum der Photosynthese gewichtete Anteil von G im Wellenlängenbereich zwischen 400 und 700 nm, jedoch neben der Wärmewirkung vor allem eine biologische Wirkung hat, sind als exemplarische Ergebnisse zum Expositionseinfluss in der Abb. 3 Tagesgänge von PAR in 1.5 m Höhe über Grund auf den Flächen K1.1.0 und K1.2.2 denjenigen auf den Flächen K2.2.0 und K2.1.2 gegenübergestellt. Grundlage sind Messwerte von zwei Strahlungstagen im Februar 2000, so dass die Unterschiede deutlich hervortreten.

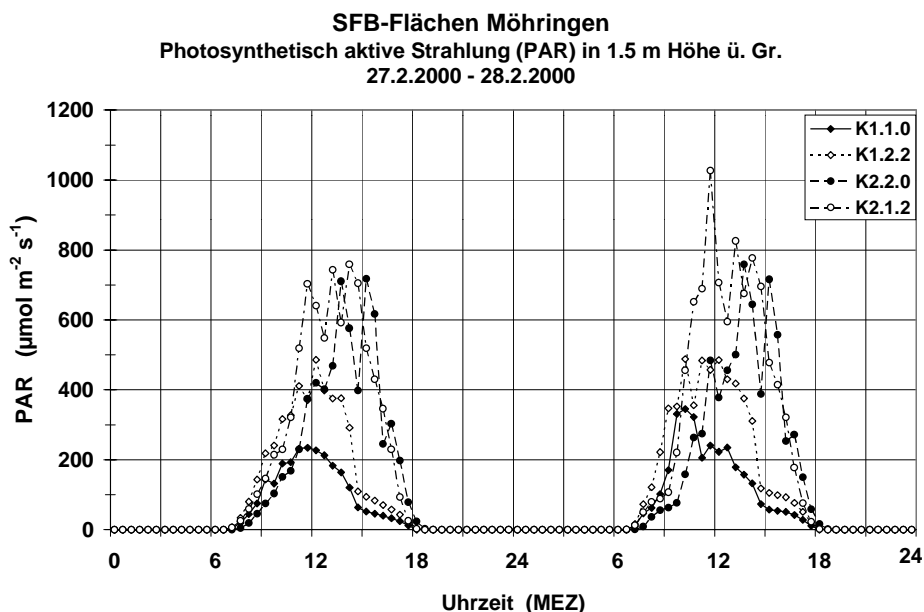


Abb. 3: Halbstunden-Mittelwerte der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) an zwei Strahlungstagen im Februar 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Fig. 3: *Half-hourly mean values of photosynthetically active radiation PAR (1.5 m above the ground) measured on two sunny days in February 2000 at the central SFB investigation areas near Möhringen*

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 %.

Die Ergebnisse in der Abb. 3 zeigen am Beispiel von PAR den bereits angedeuteten Einfluss der Exposition auf die Strahlungsflüsse über dem Waldboden. So lagen auf beiden Flächen des NO exponierten K1-Hanges die Tagesmaxima von PAR zeitlich vor den Vergleichswerten auf den Flächen des SW exponierten K2-Hanges, die jedoch höhere Beträge erreichten. Die auffällige Abnahme von PAR auf dem K1-Hang gegen 14 Uhr wurde durch die dann wirksame Horizonteinengung verursacht. Ab diesem Zeitpunkt bestand PAR auf dem K1-Hang nur noch aus dem diffusen Anteil an PAR. Aufgrund der laubfreien Phase an beiden Untersuchungstagen waren die Unterschiede zwischen den starken Schirmhiebs- und Kontrollflächen auf den jeweiligen Hängen nicht besonders ausgeprägt.

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 Lufttemperatur  $T_a$  in 1.5 m Höhe über Grund im Februar 2000 (Abb. 4) ergibt sich, dass

- \*\* das Maximum auf dem K1-Hang deutlich früher als auf dem K2-Hang eintrat,
- \*\* auf dem K2-Hang die mittlere Tagesamplitude von  $T_a$  (mehr als 4.5 °C) signifikant größer als auf dem K1-Hang (etwa 3.5 °C) war,
- \*\*  $T_a$  auf dem K2-Hang in den Nachmittagsstunden um etwa 1.5 °C über  $T_a$  auf dem K1-Hang lag.

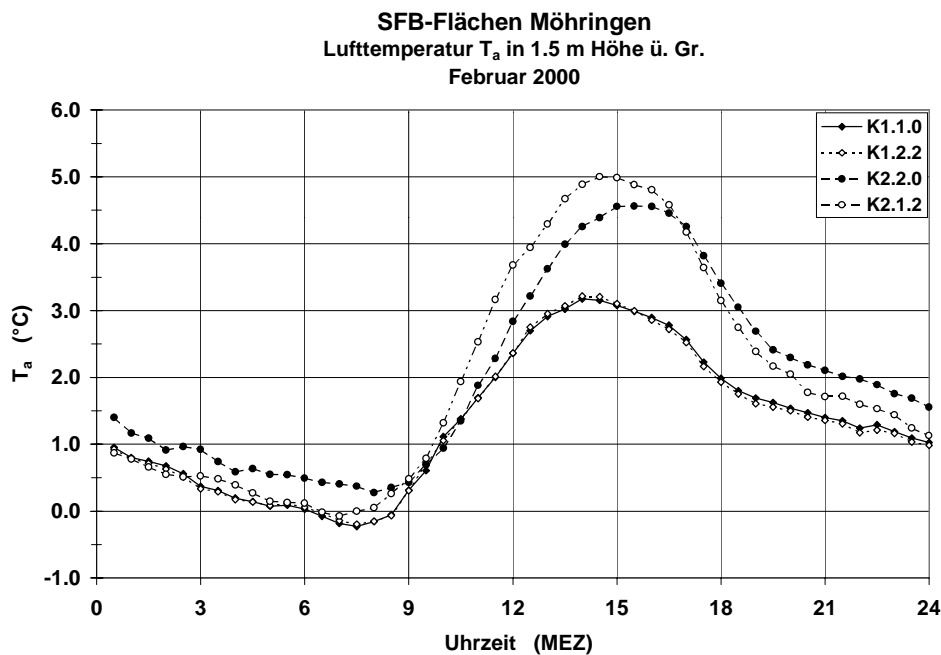


Abb. 4: Mittlere Tagesgänge (Halbstunden-Mittelwerte) der Lufttemperatur  $T_a$  (in 1.5 m Höhe über Grund) im Februar 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Fig. 4: Mean diurnal courses (half-hourly mean values) of air temperature  $T_a$  (1.5 m above the ground) in February 2000 at the central SFB investigation areas near Möhringen

### 3.2 Einfluss der forstlichen Behandlung

Die bisher erzielten Messergebnisse weisen nicht nur mikrometeorologische Unterschiede aufgrund der verschiedenen Exposition der Versuchsfelder auf, sondern auch aufgrund der unterschiedlichen Hiebsmaßnahmen auf den Versuchspartzen. Diese Unterschiede deuten sich bereits in den Abb. 3 und 4 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 Mai 2000 (Abb. 5) auf der Kontrollfläche K1.1.0 kaum  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; auf der Kontrollfläche 2.2.0 lagen sie unter  $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Auf den starken Schirmhiebflächen waren die mittleren Maxima von PAR deutlich größer (K1.2.2:  $830 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ; K2.1.2:  $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).

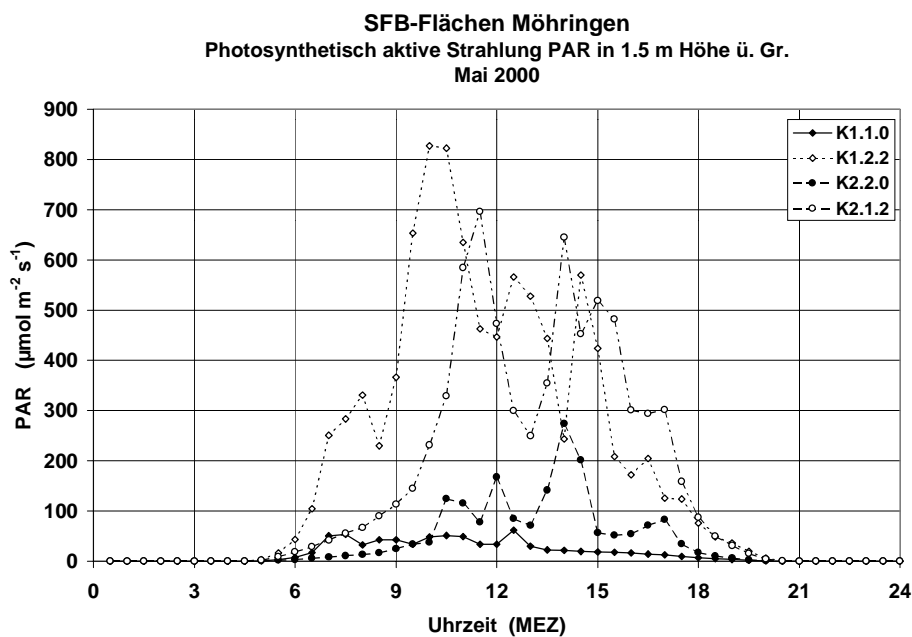


Abb. 5: Mittlere Tagesgänge (Halbstunden-Mittelwerte) der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) im Mai 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Fig. 5: Mean diurnal variations (half-hourly mean values) of photosynthetically active radiation PAR (1.5 m above the ground) in May 2000 at the central SFB investigation areas near Möhringen

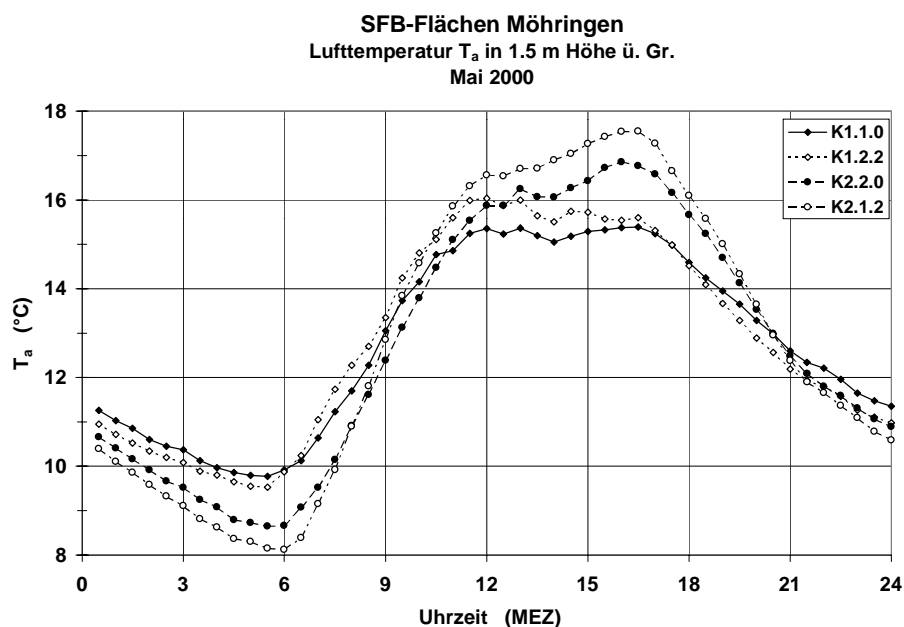


Abb. 6: Mittlere Tagesgänge (Halbstunden-Mittelwerte) der Lufttemperatur  $T_a$  (in 1.5 m Höhe über Grund) im Mai 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Fig. 6: Mean diurnal variations (half-hourly mean values) of air temperature  $T_a$  (1.5 m above the ground) in May 2000 at the central SFB investigation areas near Möhringen



Die Spitzenwerte von PAR, die die unregelmäßigen mittleren Tagesgänge von PAR, insbesondere auf den starken Schirmhiebsflächen, kennzeichnen, wurden durch den direkten Anteil an PAR hervorgerufen, der durch Lücken im Kronendach auf die ortsfesten Messwertgeber traf. Unter Berücksichtigung der Abb. 3 zeigt sich, dass in Abb. 5 die expositionsbedingten PAR-Unterschiede wesentlich kleiner als die Effekte auf PAR durch verschiedene Bewirtschaftungen waren.

Bei den mittleren Tagesgängen der Lufttemperatur  $T_a$  in 1.5 m Höhe über Grund im Mai 2000 (Abb. 6) 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 Schirmhiebsflächen infolge größerer effektiver Ausstrahlung niedriger als auf den Kontrollflächen, während tagsüber die stärkere Globalstrahlung zu höheren  $T_a$ -Werten auf den starken Schirmhiebsflächen führte.
- \*\* Die expositionsbedingten  $T_a$ -Unterschiede waren um den Faktor 2 bis 3 größer als die bewirtschaftungsbedingten  $T_a$ -Unterschiede.

### 3.3 Zusammenwirken der Einflüsse von Exposition und Bewirtschaftung

Die in den vorangehenden Fallstudien getrennt analysierten Einflüsse von Exposition und Bewirtschaftung zeigten sich in ihrer Kombinationswirkung auch bei länger aggregierten Mittelwerten. Dazu sind in der Tab. 1 die Monatsmittelwerte von PAR,  $T_a$  und  $T_{g3}$  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. Diese Tendenz zeigte sich auch für  $T_{g3}$ . Bei  $T_a$  hingegen war der Einfluss der Exposition ausgeprägter, 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 (1. Januar 2000 bis 31. Mai 2000) auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen (Abb. 7) läßt sich die Wirkung der Blattentfaltung von Rotbuchen auf PAR über dem Waldboden erkennen. Sie 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.

Um für verschiedene Parameter, die an den Bodenstationen auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen gemessen werden, Hinweise auf expositions- und bewirtschaftungsbedingte Einflüsse zu erhalten, sind in der Tab. 2 die Endwerte ihrer kumulativen Summen, gebildet aus Tagesmittelwerten, im Zeitraum vom 1. Januar 2000 bis zum 31. Mai 2000 zusammengestellt. Zusätzlich wurden die für K1.1.0, K1.2.2 und K2.2.0 ermittelten Summenwerte in Relation zu den entsprechenden Werten von K 2.1.2 gesetzt. Daraus lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- \*\* Die Strahlungsflüsse PAR, UV-A und UV-B reagierten am stärksten auf bewirtschaftungsbedingte Einflüsse.
- \*\* Die Bodentemperaturen zeigten Abhängigkeiten von Expositions- und Bewirtschaftungseinflüssen, wobei die Wirkung der Exposition ausgeprägter war.

Tab. 1: Monatsmittelwerte von PAR und  $T_a$  in 1.5 m Höhe über Grund sowie von  $T_{g3}$  auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen im Zeitraum September 1999 bis Mai 2000

Table 1: Monthly mean values of PAR and air temperature  $T_a$  at 1.5 m above the ground as well as soil temperature  $T_{g3}$  measured at 3 cm depth in the period of September 1999 to May 2000 at the central SFB investigation areas near Möhringen

	Fläche	Monate									
		IX/99	X/99	XI/99	XII/99	I/00	II/00	III/00	IV/00	V/00	
PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	K1.1.0	8.1	10.9	19.0	14.9	20.7	33.4	62.5	103.2	15.8	
	K1.2.2	106.3	37.0	30.0	23.8	31.1	53.5	124.6	213.5	191.9	
	K2.2.0	13.6	14.0	28.9	25.9	32.5	62.4	98.2	149.9	37.3	
	K2.1.2	111.8	64.2	44.9	35.9	48.2	83.2	139.6	222.1	148.1	
$T_a$ (°C)	K1.1.0	14.6	7.4	0.1	-0.8	-2.4	1.3	3.2	8.1	12.8	
	K1.2.2	14.6	7.3	0.2	-0.8	-2.4	1.3	3.3	8.2	12.9	
	K2.2.0	14.8	7.7	0.4	0.1	-2.0	2.0	3.7	8.3	12.8	
	K2.1.2	14.9	7.7	0.4	0.1	-1.9	2.0	3.8	8.4	12.9	
$T_{g3}$ (°C)	K1.1.0	13.8	7.7	2.7	0.9	-0.1	1.1	2.9	6.8	11.6	
	K1.2.2	14.7	7.6	2.9	0.9	0.2	0.8	3.3	7.8	13.2	
	K2.2.0	14.5	8.6	3.5	1.7	0.2	2.1	4.2	8.1	12.4	
	K2.1.2	16.2	9.7	4.1	2.1	0.6	2.5	4.5	8.5	13.6	

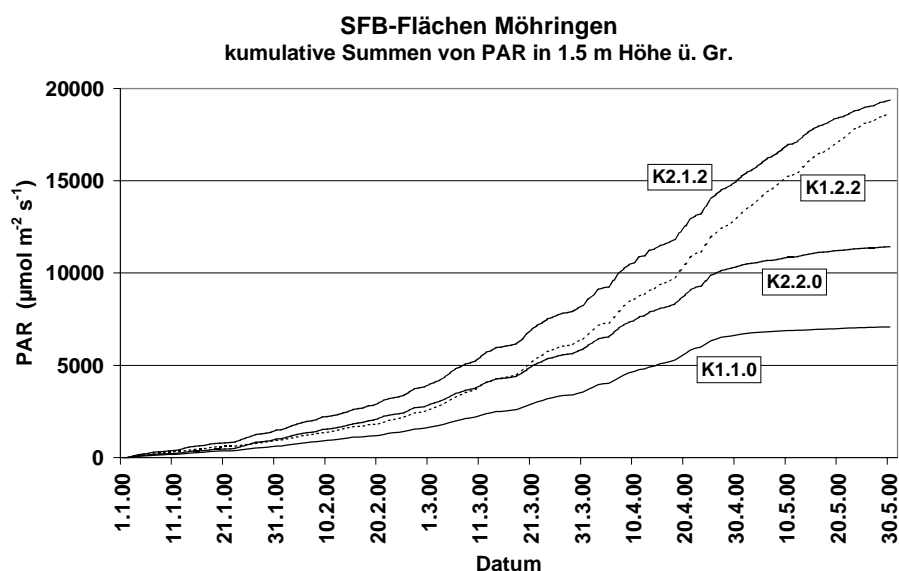


Abb. 7: Kumulative Summen aus Tagesmittelwerten der photosynthetisch aktiven Strahlung PAR (in 1.5 m Höhe über Grund) vom 1. Januar 2000 bis zum 31. Mai 2000 auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen

Fig. 7: Cumulative sums of daily mean values of photosynthetically active radiation PAR (measured at 1.5 m above the ground) in the period of 1 January 2000 to 31 May 2000 at the central SFB investigation areas near Möhringen

Tab. 2: Kumulative Summen aus Tagesmittelwerten von meteorologischen Parametern, gemessen an Bodenstationen auf Kernflächen am SFB-Standort Möhringen im Zeitraum vom 1. Januar 2000 bis zum 31. Mai 2000 (PAR: photosynthetisch aktive Strahlung, UV-A: UV-A Strahlung, UV-B: UV-B Strahlung,  $T_a$ : Lufttemperatur, RH: relative Luftfeuchtigkeit,  $T_{g1}$ : Bodentemperatur in 1 cm Tiefe,  $T_{g3}$ : Bodentemperatur in 3 cm Tiefe,  $T_{g5}$ : Bodentemperatur in 5 cm Tiefe,  $T_{g10}$ : Bodentemperatur in 10 cm Tiefe,  $T_{g20}$ : Bodentemperatur in 20 cm Tiefe,  $T_{g40}$ : Bodentemperatur in 40 cm Tiefe, v: Windgeschwindigkeit; PAR, UV-A, UV-B,  $T_a$ , RH und v in 1.5 m Höhe über Grund)

Table 2: Cumulative sums of daily mean values of meteorological parameters, measured at the central SFB investigation areas near Möhringen from 1 January 2000 to 31 May 2000 (PAR: photosynthetically active radiation, UV-A: UV-A radiation, UV-B: UV-B radiation,  $T_a$ : air temperature, RH: air humidity,  $T_{g1}$ : soil temperature at 1 cm depth,  $T_{g3}$ : soil temperature at 3 cm depth,  $T_{g5}$ : soil temperature at 5 cm depth,  $T_{g10}$ : soil temperature at 10 cm depth,  $T_{g20}$ : soil temperature at 20 cm depth,  $T_{g40}$ : soil temperature at 40 cm depth, v: wind speed; PAR, UV-A, UV-B,  $T_a$ , RH and v measured at 1.5 m above the ground)

	Kumulative Summen				Verhältnisse kumulativer Summen		
	K1.1.0	K1.2.2	K2.2.0	K2.1.2	K1.1.0/ K2.1.2	K1.2.2/ K2.1.2	K2.2.0/ K2.1.2
PAR ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	7084.3	18661.2	11425.6	19376.3	0.37	0.96	0.59
UV-A ( $\text{W m}^{-2}$ )	180.7	439.7	253.6	401.4	0.45	1.10	0.63
UV-B ( $\text{mW m}^{-2}$ )	519.8	1324.9	730.4	1196.5	0.43	1.11	0.61
$T_a$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	713.2	716.4	762.7	772.4	0.92	0.93	0.99
RH (%)	12186.9	12147.0	12124.4	11996.2	1.02	1.01	1.01
$T_{g1}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	688.9	781.5	825.8	898.9	0.77	0.87	0.92
$T_{g3}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	683.4	775.0	823.7	902.8	0.76	0.86	0.91
$T_{g5}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	676.6	767.5	822.7	908.6	0.74	0.84	0.91
$T_{g10}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	680.8	753.0	820.4	897.0	0.76	0.84	0.91
$T_{g20}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	672.0	732.8	816.3	901.5	0.75	0.81	0.91
$T_{g40}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	664.7	707.1	804.1	884.7	0.75	0.80	0.91
v ( $\text{m s}^{-1}$ )	154.2	175.1	168.4	167.6	0.92	1.04	1.00

\*\* Die Lufttemperatur wies ebenfalls eine stärkere Expositionsabhängigkeit auf, während sich bewirtschaftungsbedingte Unterschiede bei den kumulativen Lufttemperatursummen kaum zeigten.

\*\* Die relative Luftfeuchtigkeit verhielt sich fast invariant gegenüber unterschiedlicher Exposition und Bewirtschaftung.

\*\* Bei der Windgeschwindigkeit deuteten sich bewirtschaftungsbedingte Einflüsse an.

#### 4 Schlussfolgerungen

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

- \*\* Die Ergebnisse der mikrometeorologischen und forsthydrometeorologischen 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 Strahlungsparametern am größten.
- \*\* Bei den Strahlungsflüssen UV-A, UV-B und PAR überwiegen in der belaubten Phase die Unterschiede durch die forstlichen Behandlungen deutlich gegenüber den expositionsbedingten; in der laubfreien Phase hingegen dominiert der Einfluss der Exposition.
- \*\* Sowohl die Bodentemperaturen als auch die Lufttemperaturen zeigen Abhängigkeiten von Behandlungs- und Expositionsunterschieden auf, wobei hier der Einfluss der Exposition stärker ausgeprägt ist.

#### Anmerkung

Für die finanzielle Förderung dieser Untersuchung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Universität Freiburg und das Land Baden-Württemberg wird vielmals gedankt.

#### Literatur

- BELL, G.D., M.S. HALPERT, R.C. SCHNELL, R.W. HIGGINS, J. LAWRIE, 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.
- 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.
- MÜLDER, D., 1982: Helft unsere Buchenwälder retten ! Ein Leitfaden für Bürgerinitiativen. – Stuttgart, DRW-Verlag.
- 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. ZHOUB, 2000: Measuring and modelling photosynthetically active radiation in Tibet Plateau during April-October. - Agric. Forest Meteorol. **102**, 207-212.

*Anschrift der Autoren:* Dipl.-Met. Thomas Holst, Dipl.-Met. Jutta Rost, Dirk Schindler, Dr. Andreas Matzarakis, Prof. Dr. Helmut Mayer, Meteorologisches Institut der Universität Freiburg, Werderring 10, D-79085 Freiburg, e-mail: holst@uni-freiburg.de