

**Berichtsreihe zum Statusseminar
der Baden-Württemberg-Projektträgerschaft "Lebensgrundlage Umwelt und ihre
Sicherung" (BW-PLUS),**

FZKA-BWPLUS 15

(Diskussionskreis, Leopoldshafen, 9.3.1999)

Einfluß von Trockenstreß auf die Photosyntheseaktivität verschiedener Ökotypen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) - Unterschiede in der Trockenstreßempfindlichkeit

C. Buschmann, S. Bilke, T. Butterer, A. Enk, T. Längle, O. Wenzel und H.K. Lichtenthaler

Zusammenfassung:

Am PEF-Standort Conventwald (Südschwarzwald bei Freiburg, 700 m ü. NN) wurden 1998 unsere Untersuchungen wie im Vorjahr fortgeführt. Die Hälfte der inzwischen 7 jährigen Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) wurden zwischen Mitte Juli und September 1998 einem Trockenstreß durch Regenwasserausschluß mit einer lichtdurchlässigen Folie ausgesetzt. Die baden-württembergischen Buchenökotypen Forbach, Ravensburg, Überlingen und Zwiefalten wurden untereinander sowie mit umgepflanzten Jungpflanzen und auf Stock stehenden Naturverjüngung des Conventwaldes verglichen. Trockenstreß verursachte bei den Buchenökotypen Forbach, Ravensburg und Überlingen zwar eine Verminderung der durchschnittlichen Blattfläche aber eine Erhöhung der Blattanzahl und somit der Gesamtblattfläche. Durch Wassermangel wurden die Photosynthese- und Dunkelatmungsaktivität sowie die Transpiration für die einzelnen Ökotypen in unterschiedlichem Ausmaß herabgesetzt. Der Ökotyp Forbach zeichnete sich unter Wassermangel durch einen verbesserten Wassernutzungskoeffizienten (Nettophotosynthese / Transpiration) aus. Dies läßt langfristig auf ein besseres Wachstum schließen, so daß angesichts des für die Zukunft zu erwartenden globalen Temperaturanstiegs mit sommerlichem Wassermangel der Ökotyp Forbach am ehesten für den waldwirtschaftlichen Anbau an Schwarzwaldstandorten oberhalb 700 m ü. NN (wie der Conventwald Freiburg) empfohlen werden kann.

Summary:

Influence of drought stress on the photosynthetic activity of different ecotypes of beech (*Fagus sylvatica* L.) - Differences in sensitivity to drought stress

At the PEF-test site Conventwald (Southern Black Forest, near Freiburg, 700 m above s.l.) our studies were continued in 1998 as in the previous year. Half of the now 7-year-old European beech trees (*Fagus sylvatica* L.) were exposed to drought stress between mid June and September 1998 by excluding rain water by means of a transparent foil. The beech ecotypes of Baden-Württemberg originating from Forbach, Ravensburg, Überlingen and Zwiefalten were compared with each other as well as with transplanted young plants and with plants growing on recur young stems as natural rejuvenescence of the Conventwald. In the ecotypes Forbach, Ravensburg and Überlingen drought stress caused a reduction of the mean leaf area but an increase in the number of leaves and thus of the total leaf area. Water deficiency reduced the activity of photosynthesis and dark respiration as well as transpiration to differential amounts in the single ecotypes. Under water deficiency, the ecotype Forbach is characterised by a improved water use efficiency (net photosynthesis/transpiration). From this a better long-term growth can be deduced. Thus, in view of the future expected rise in global temperature with water deficiency in summer, the ecotype Forbach can best be recommended for forestry cultivation in Black Forest sites above 700 m above s.l. (as the Conventwald at Freiburg).

1 Einleitung

Nach den Schäden an Nadelbäumen traten in den letzten Jahren vermehrt Schäden an Laubbäumen, speziell bei der weit verbreiteten Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.), auf. Neben den Luftschadstoffen werden heute auch klimatische Faktoren für Pflanzenschäden verantwortlich gemacht. Die in den letzten Jahren zunehmende Diskussion über trockenheitsbedingte Beeinträchtigungen der Buchen war Anlaß, nach Ökotypen zu suchen, die an Trockenheit besser angepaßt sind. Am PEF-Standort Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg wurden 1996 fünf Buchenökotypen von verschiedenen baden-württembergischen Standorten als 4 Jahre alte Jungpflanzen ausgepflanzt. Die Hälfte der Pflanzen wurde zwischen Mitte Juli und September 1998 unter einem Dach mit transparenter Folie unter Ausschluß von Regenwasser gehalten. An den Untersuchungen waren mehrere Arbeitsgruppen beteiligt, die parallel unterschiedliche Parameter erhoben. Hier werden die Ergebnisse der Arbeitsgruppe Lichtenthaler (Botanik II, Universität Karlsruhe) dargestellt, die im Jahr 1998 neben biometrischen Wachstumsparametern auch Photosynthese, Atmung, Transpiration und stomatare Leitfähigkeit (CO₂-/H₂O-Porometer), Chlorophyllfluoreszenzkinetiken und Blattfarbstoffgehalte erfaßte. Die Ergebnisse des Jahres 1997 sind bereits veröffentlicht (PANTEL et al., 1998; VOLKMER et al. 1998).

2 Material und Methoden

PEF-Standort Conventwald. Der Conventwald liegt im Südschwarzwald bei Freiburg (700-860 m ü. NN). Schon vor Beginn dieses PEF-Projektes wurde dieses Gebiet von der Forstlichen Versuchsanstalt Freiburg untersucht (z. B. v. WILPERT et al., 1996). Der Boden besteht aus tiefgründiger, mesotropher Braunerde, die sehr steinig und mit dunklen Paragneisen durchsetzt ist. Die mittlere, langjährige Niederschlagsmenge beträgt am Standort 1.400 mm/Jahr. Die eigentliche Versuchsfläche, die von der Arbeitsgruppe Rennenberg (Institut für Forstbotanik und Baumphysiologie, Universität Freiburg) betreut wird, ist ca. 26 x 28 m groß. Der lockere Tannen-Buchenbestand mit 40 bis 60 Jahre alten, großen Bäume gibt den Versuchspflanzen temporär mit dem Sonnenstand wechselnden Schatten. Die Lage wurde von uns mit 41,5 % Steigung (Neigungsmesser PN-5/360-PC, SUUNTO Co., Helsinki (Finnland)) und Exposition in SSE Richtung bestimmt.

Versuchspflanzen. Als Versuchspflanzen wurden 1996 vierjährige Rotbuchen auf der naturnah belassenen Fläche angepflanzt (VOLKMER UND RENNENBERG, 1997). Dabei handelte es sich um jeweils 100 Pflanzen der Buchenökotypen Forbach (**F**), Ravensburg (**R**), Überlingen (**UE**) und Zwiefalten (**Z**) (aus dem Genressourcenprogramm des Landes Baden-Württemberg, von einer Emmendinger Pflanzschule angezogen), sowie des Ökotyps Conventwald (**C**) (umgepflanzte Bäume gleichen Alters vom Standort). Diese Ökotypen wurden mit am Standort auf Stock stehenden Jungpflanzen (Naturverjüngung, **C(N)**) verglichen. 1998 wurde wie 1997 die Hälfte der Pflanzen zwischen Mitte Juli und Ende September einem Trockenstreß ausgesetzt. Hierfür wurden drei Teilflächen mit einem lichtdurchlässigen Foliendach (PVC, ca. 90-95 % UV durchlässig bis 250 nm) in ca. 1,60 m Höhe überspannt und auch der Wasserzufluß vom Hang ausgeschlossen. Für die Untersuchungen wurden jeweils einzelne Pflanzen markiert und wiederholt gemessen.

Biometrie. Die Fläche der Blätter wurde mit einem Blattflächenmeßgerät (Area Meter, Delta-t Devices LTD, Cambridge, England) bestimmt. Hierzu wurden bei der abschließenden Ernte von jeweils acht Pflanzen der verschiedenen Ökotypen stichprobenartig acht Blätter abgetrennt und vermessen. Gleichzeitig wurde die Masse der abgetrennten Blätter sowie die

Gesamtblattmasse des Proben-Baumes bestimmt. Die Gesamtblattflächen der einzelnen Bäume wurde dann von der Fläche der acht abgetrennten Blätter hochgerechnet.

Zur Bestimmung der Stomatadichte wurden von jedem Buchenökotyp und von der Naturverjüngung Conventwald je ein großes und ein kleines Blatt abgetrennt. Etwa 3 cm² der Blattunterseite wurden mit einem Klebstoff (*UHU hart*) bestrichen, um einen Abdruck der Blattoberfläche zu erhalten. Der ausgetrocknete Klebstofffilm wurde in ein Mikroskop gelegt, die Stomata mittels eines Zeichenapparates nach *Abbé* (Carl Zeiss, leihweise zur Verfügung gestellt durch Prof. Heumann, Botanik I, Universität Karlsruhe) in dem zuvor bestimmten Gesichtsfeldbereich (1,2076 mm²) markiert und anschließend ausgezählt.

Blattfarbstoffe. Die Chlorophylle (a+b) und Carotinoide (x+c) wurden aus Blattstanzstücken (Fläche: 1,27 cm²) mit einem Mörser in Aceton extrahiert. Um Trübungen durch Zellreste zu entfernen, wurden die Extrakte abzentrifugiert (5 min bei 1500 x g). Die Farbstoffgehalte wurden mit einem Spektralphotometer unter Verwendung der von Lichtenthaler (1987) neu bestimmten Extinktionskoeffizienten, die eine parallele Bestimmung der Chlorophylle und Carotinoide in einer Extraktlösung gestatten, erfaßt.

Porometer. Mit einem tragbaren CO₂-/H₂O-Porometer (LCA-4, ADC, Fa. Bernt, Düsseldorf) wurden die Nettophotosynthese (P_N), die Dunkelatmung, die Transpiration (E) und die stomatare Leitfähigkeit (G_s) ermittelt. Die Messungen wurden alle 30 s bei Dunkelheit sowie im Licht (Weißlicht 50 W-Kaltlichtreflektor-Halogenlampe) bei einer PAR Quantenstromdichte von 570 μmol m⁻² s⁻¹ (knapp unter Lichtsättigung) bzw. 1700 μmol m⁻² s⁻¹ (über Lichtsättigung) durchgeführt. Bei der Messung mit 570 μmol m⁻² s⁻¹ wurden nur die letzten zehn Werte (konstantes Niveau) verwendet. Der Wassernutzungskoeffizient (engl.: Water-Use-Efficiency, WUE) wurde als das Verhältnis der Nettophotosynthese (P_N) zur Transpiration (E) berechnet.

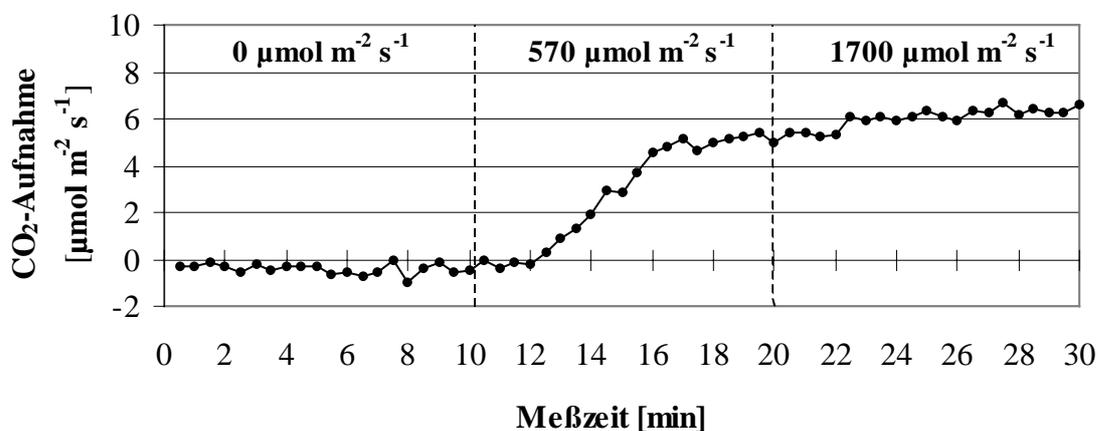


Abb. 1: Zeitlicher Ablauf einer CO₂-Messung mit dem CO₂-/H₂O-Porometer (Beispiel: Buchenökotyp Überlingen, Kontrolle). Meßwerte alle 30 s 10 min bei Dunkelheit (0 μmol m⁻² s⁻¹), 10 min bei einer Quantenstromdichte von 570 μmol m⁻² s⁻¹ und 10 min bei 1700 μmol m⁻² s⁻¹

Chlorophyllfluoreszenz-Induktionskinetik. Die Chlorophyllfluoreszenz-Induktionskinetiken wurden mit dem tragbaren Zwei-Wellenlängen Fluorometer „BUKA“ (CFM-636973, Technische Universität Budapest, Lehrstuhl Atomphysik) bei 690 und 735 nm an der Blattoberseite gemessen (Fluoreszenzanregung mit Laserdiode, λ_{max.} 635 nm). Die Steuerung der Messung, Datenerfassung und Auswertung erfolgten mit einem integrierten Rechner. Aus den Meßwerten wurden die Rfd-Werte (Rfd = ratio fluorescence decrease) als Vitalitätsindex, das Verhältnis der variablen Fluoreszenz F_V/F₀ und der Streßadaptationsindex Ap berechnet

(LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988; BABANI UND LICHTENTHALER, 1996; LICHTENTHALER UND MIEHE, 1997). Für die Messungen wurden mit einem Korkbohrer runde Stanzstücke (9 mm Durchmesser) aus dem Blatt herausgetrennt und die Stanzstücke vor der Messung mindestens 15 min verdunkelt. Die Stanzstücke wurden anschließend für die Chlorophyll- und Carotinoidbestimmung verwendet.

3 Ergebnisse

Im relativ trockenen, d. h. niederschlagsarmen Jahr 1998 war die **Gesamtblattfläche** (Abb. 2) der Trockenstreßpflanzen der Buchenökotypen Forbach, Ravensburg und größer als bei den Kontrollpflanzen. Der deutlichste Größenunterschied war bei Forbach mit +69 % zu erkennen. Die Trockenstreßpflanzen des Ökotyps Conventwald und Zwiefalten besaßen dagegen eine um 27,2 % bzw. 9,2 % geringere Gesamtblattfläche als die der Kontrollfläche. Bei allen Buchenökotypen zeigte sich, daß die durchschnittliche Fläche der Einzelblätter der Trockenstreßpflanzen geringer war als die der Kontrollpflanzen (Daten nicht dargestellt).

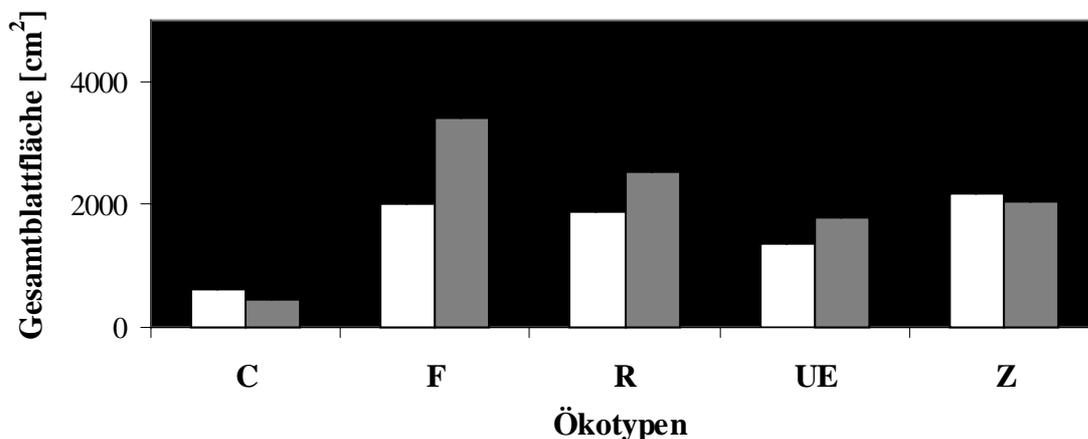


Abb. 2: Gesamtblattfläche aller Blätter einer Pflanze [cm²] für die verschiedenen Buchenökotypen auf der Kontrollfläche (weiße Balken) und der Trockenfläche (schraffierte Balken) am Standort Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg. Die Werte wurden aus jeweils acht Pflanzen eines Ökotyps gemittelt. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten. Signifikante Unterschiede mit der Irrtumswahrscheinlichkeit von *: $p \leq 0,05$.

Die **Stomatadichte** (Stomata pro mm²) war bei den Kontroll-Blättern des Buchenökotyps Conventwald verhältnismäßig hoch (277 Stomata pro mm²) und unter Trockenstreß auf die Hälfte reduziert. Die anderen Ökotypen hatten eine Stomatadichte im Schnitt von 180 Stomata pro mm² unabhängig davon, ob sie auf der Kontrollfläche oder Trockenfläche gewachsen waren.

Die Gehalte an **Chlorophyll a und b** der Buchenblätter bewegten sich bei allen untersuchten Buchenökotypen der Trocken- und der Kontrollfläche zwischen 250 und 390 mg m⁻². Sie lagen damit etwas niedriger als die Werte, die bisher bei Schattenblättern ausgewachsener Buchen ermittelt wurden (vgl. ca. 450 mg m⁻², LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988 und 390-550 mg m⁻², LICHTENTHALER et al., 1981). Bei Blattgeweben anderer grüner Pflanzen wie dem Tabak wurden Werte um die 300 mg m⁻² (SCHINDLER et al., 1994) und bei Ergrünung etiolierter Gerstenkeimlingen nach 32 h Belichtung (BABANI AND LICHTENTHALER, 1996) zwischen 125-170 mg m⁻² ermittelt. Der Buchenökotyp Ravensburg sowie die Naturverjüngung Conventwald zeigten bei den Trockenstreßpflanzen einen Anstieg des

Chlorophyllgehalts pro Blattfläche. Das **Verhältnis der Chlorophylle a/b** blieb unverändert und erreichte bei allen Pflanzen im Schnitt einen Wert von $2,75 \pm 0,14$. Das **Verhältnis der Chlorophylle zu den Carotinoiden** $(a+b)/(x+c)$ lag mit Werten von 5,1 bis 5,9 bei für Buchen typischen Werten (LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988), die so auch bei anderen grünen Pflanzen gefunden wurden (SCHINDLER et al., 1993; BABANI AND LICHTENTHALER, 1995).

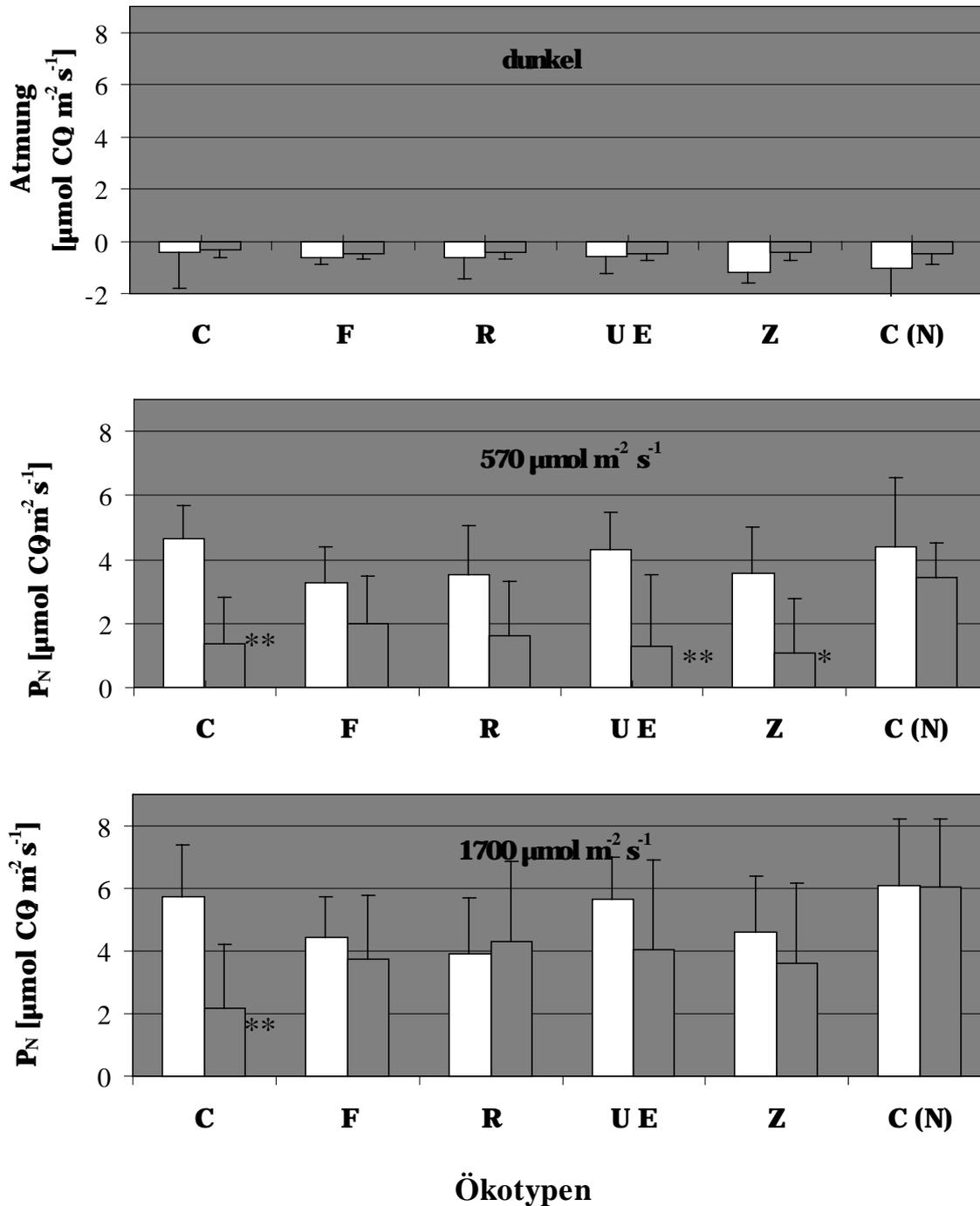


Abb. 3: Atmung (im Dunkeln: $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) und Nettphotosynthese (P_N) sowie unterhalb und oberhalb der Lichtsättigung (570 bzw. $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) für die einzelnen Ökotypen am Standort Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg. Mittelwerte über den Zeitraum August bis September (0 und $570 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bzw. Juni bis September ($1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Kontrollfläche: weiße Balken; Trockenfläche: schraffierte Balken. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten, C(N): Conventwald Naturverjüngung. ($n \geq 10$). Signifikante Unterschiede mit der Irrtumswahrscheinlichkeit von *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$.

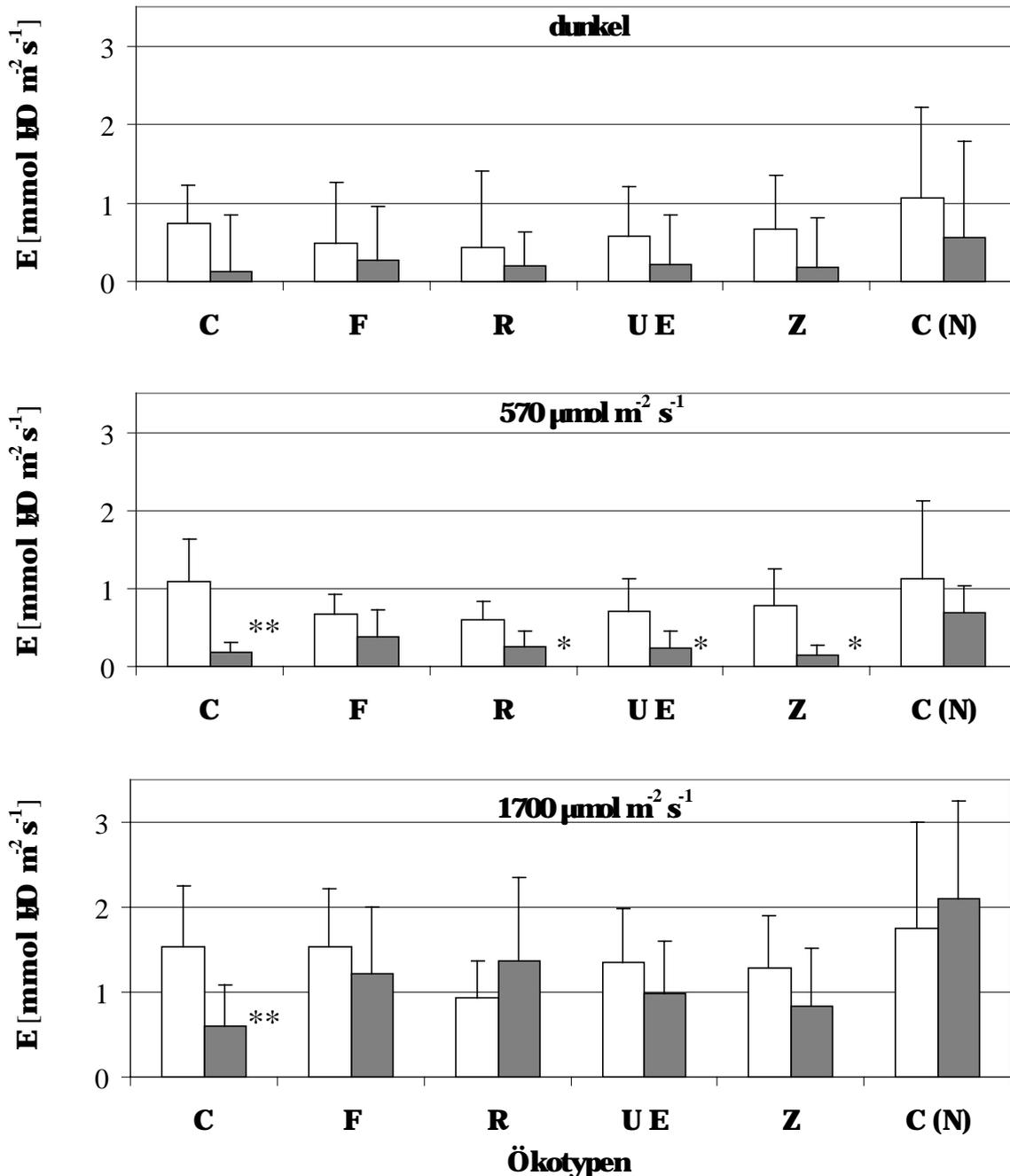


Abb. 4: Transpiration (E) im Dunkeln sowie unterhalb und oberhalb der Lichtsättigung der Photosynthese (570 bzw. $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) für die einzelnen Buchenökotypen am Standort Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg. Mittelwerte über den Zeitraum August und September (0 und $570 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bzw. Juni bis September ($1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Kontrollfläche: weiße Balken; Trockenfläche: schraffierte Balken. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten, C(N): Conventwald. Naturverjüngung. ($n \geq 10$). Signifikante Unterschiede mit der Irrtumswahrscheinlichkeit von *: $p \leq 0,05$; **: $p \leq 0,01$

Die Messungen mit dem **CO₂-/H₂O-Porometer** (Abb. 3 und 4) zeigten, daß alle Gruppen auf der Trockenfläche bei Dunkelheit und bei $570 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ Lichtintensität deutlich geringere **Atmungs-, Nettophotosynthese- (P_N)** und **Transpirationraten (E)** aufwiesen als die Pflanzen der Kontrollfläche. Auch bei Lichtsättigung ($1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) konnte bei fast allen Ökotypen ein Trockenstreßeffekt bei der Nettophotosynthese und der Transpiration festgestellt werden. Eine besonders starke Erniedrigung dieser beiden Werte zeigte sich beim

Ökotyp Conventwald, beim Ökotyp Ravensburg und bei der Naturverjüngung nahmen die Raten der Trockenstreßpflanzen gegenüber denen der Kontrolle sogar leicht zu. Die Werte für die **stomatäre Leitfähigkeit für Wasser (Gs)** entsprachen relativ gesehen denen der Transpiration, d.h. niedrigere Werte für die Pflanzen unter Trockenstreß. Schon im Dunkeln waren diesen Gs-Werten zufolge (0 bis $0,05 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) die Stomata leicht geöffnet. Bei einer Lichtintensität von $570 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ änderte sich der Öffnungszustand der Stomata nur unwesentlich. Erst bei $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ zeigten die Gs-Werte (Abb. 5) einen deutlichen Anstieg ($0,04$ bis $0,13 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), der auf das Öffnen der Stomata hinweist.

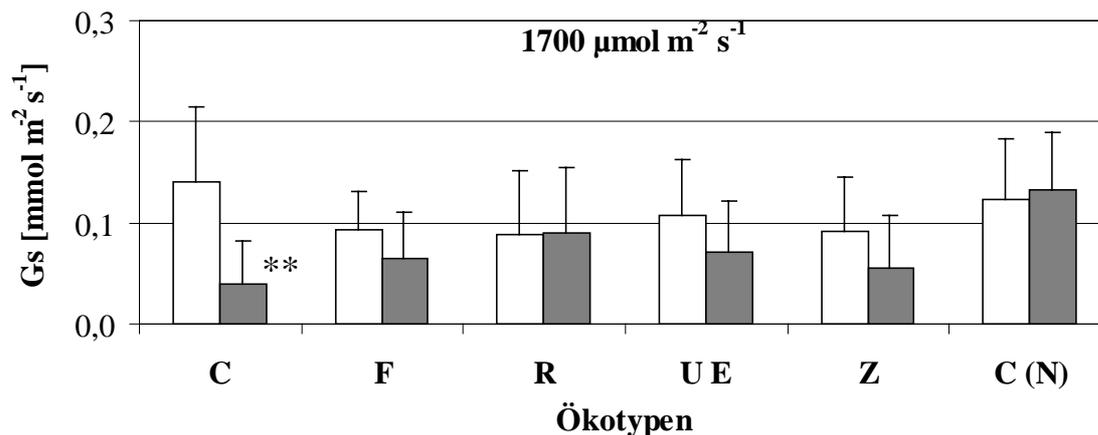


Abb. 5 Stomatäre Leitfähigkeit Gs oberhalb der Lichtsättigung bei $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ für die einzelnen Buchenökotypen am Standort Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg. Mittelwerte über den Zeitraum Juni bis September ($1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Kontrollfläche: weiße Balken; Trockenfläche: schraffierte Balken. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten, C(N): Conventwald Naturverjüngung. ($n \geq 10$). **: Signifikanter Unterschied mit der Irrtumswahrscheinlichkeit von $p \leq 0,01$

Die Nettophotosynthese (P_N) und die stomatäre Leitfähigkeit (G_s) sind besonders bei niedrigen Werten linear miteinander korreliert. Die Korrelation ist beispielhaft für die Meßwerte des Ökotyps Ravensburg auf der Kontrollfläche und der Trockenfläche in Abb. 6 dargestellt.

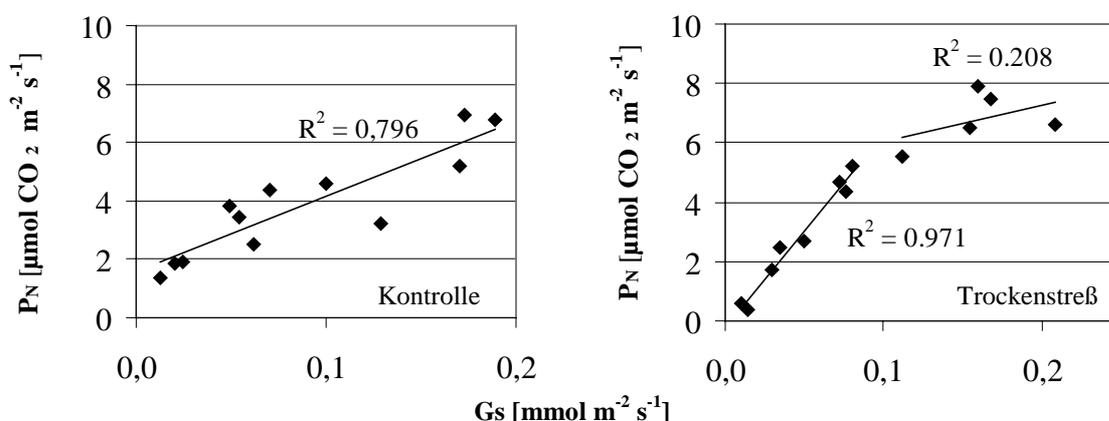


Abb. 6: Lineare Abhängigkeit der Nettophotosynthese (P_N) von der stomatären Leitfähigkeit (G_s) am Beispiel der Meßwerte des Buchenökotyps Ravensburg bei einer Lichtsättigung der Photosynthese von $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ über den Meßzeitraum Juni bis September. (Kontrolle: links; Trockenstreß: rechts)

Der **Wassernutzungskoeffizient (WUE)** lag für alle untersuchten Pflanzen im Schnitt bei Werten um 4 (Abb. 7). Dieser Wert war großen Schwankungen unterworfen, besonders bei den Pflanzen der Trockenfläche. Es fällt auf, daß beim Buchenökotyp Überlingen Trockenstreß den Wassernutzungskoeffizienten reduziert und daß Forbach und Ravensburg unter Trockenstreß sogar eine bessere Wassernutzung angezeigt wird. Diese Unterschiede traten sowohl bei einer Quantenstromdichte von $570 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ als auch bei $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ auf.

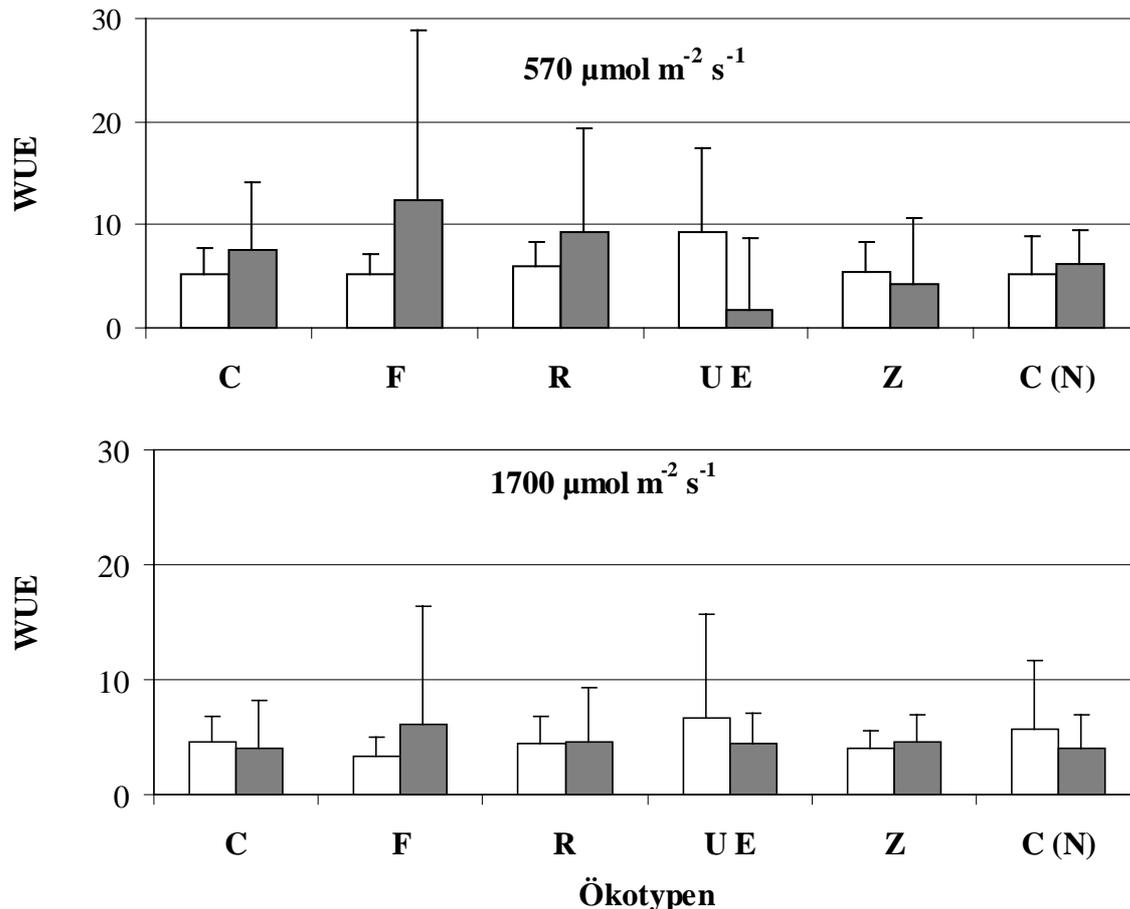


Abb. 7: Wassernutzungskoeffizient (WUE) für die verschiedenen Buchenökotypen im Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg. Mittelwerte über den Zeitraum Juni bis September. Kontrollfläche: weiße Balken; Trockenfläche: schraffierte Balken. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten, C(N): Conventwald Naturverjüngung. (n \geq 10)

Die Chlorophyllfluoreszenzparameter zeigten im Untersuchungsjahr 1998 keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Ökotypen. Auch Trockenstreß bewirkte keine wesentliche Änderung. Insgesamt lagen die **Rfd-Werte** im 690 nm-Maximum der Chlorophyllfluoreszenz, die als Maß für den photosynthetischen Elektronentransport im Photosystem II gelten und bei offenen Stomata ein Maß für die maximale photosynthetische CO_2 -Assimilation darstellen (LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988; BABANI UND LICHTENTHALER, 1996), in dem zu erwartenden Bereich von 2,5 bis 3,5 (Abb. 8, oben) (ZIMMER-RINDERLE, 1990). Das Verhältnis der **maximalen Quantenausbeute F_V/F_0** der 690 nm-Fluoreszenz (Abb. 8, Mitte), ein Indikator für die Funktionsfähigkeit von Photosystem II, liegt bei allen Ökotypen im Bereich gesunder Pflanzen. Der **Streßadaptationsindex A_p** (Abb. 8, unten) war bei allen Ökotypen relativ niedrig mit Werten zwischen 0,12 und 0,16. Dies deutet darauf hin, daß nicht nur die unter

Wasserausschluß gehaltenen Pflanzen, sondern auch die Kontrollpflanzen offenbar unter Wasserstreß standen.

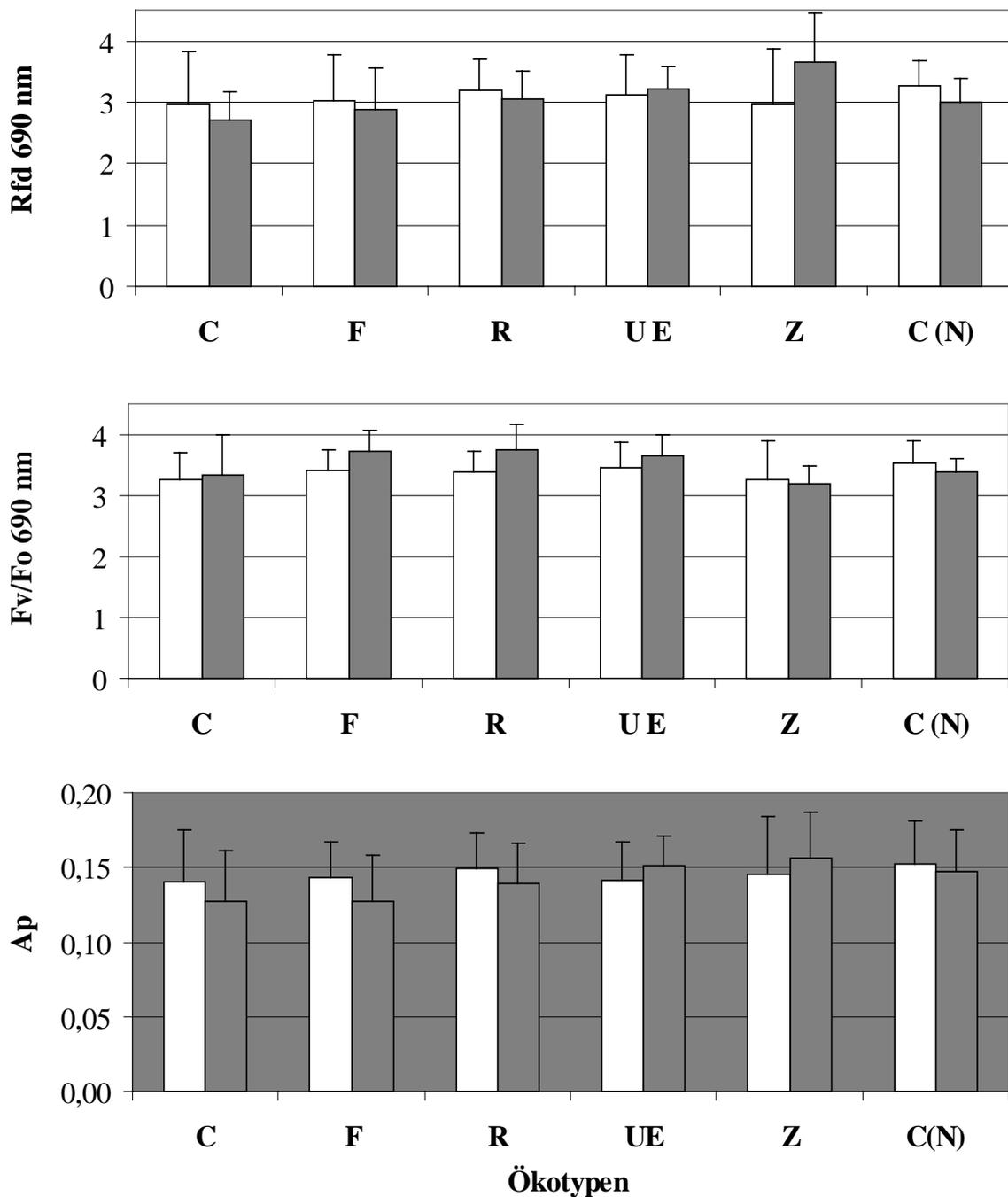


Abb. 8: Chlorophyllfluoreszenz-Parameter für die einzelnen Buchenökotypen am Standort Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg: Rfd-Wert bei 690 nm (Rfd = Ratio fluorescence decrease), maximale Quantenausbeute von Photosystem II (Fv/Fo) bei 690 nm und Streßadaptationsindex (Ap). Mittelwerte über den Meßzeitraum Juni bis September. Kontrollfläche: weiße Balken; Trockenfläche: schraffierte Balken. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten, C(N): Conventwald Naturverjüngung. (n ≥ 8)

4 Diskussion

Wie im Jahr 1997 zeigte der Buchenökotyp Conventwald ein insgesamt schlechtes Wachstum. Dies beruht wahrscheinlich darauf, daß die Ökotypen der anderen

Buchenstandorte vor der Auspflanzung unter optimalen Bedingungen in einer Pflanzenschule gehalten wurden, und ein gutes Wurzelwerk ausbilden konnten. Die Buchen der Naturverjüngung Conventwald hatten das gesündeste Aussehen. Da sie auf Stock stehen (Neuaustrieb nach Abschneiden des Jungtriebs), haben sie ein viel größeres Wurzelwerk als die anderen neu angepflanzten Jungpflanzen. Bei den auswärtigen Ökotypen (mit Ausnahme von Zwiefalten) ist bemerkenswert, daß ihre Gesamtblattfläche unter Trockenstreß zunimmt. Diese Zunahme ist auf eine größere Anzahl von Blättern mit im Durchschnitt kleinerer Blattfläche zurückzuführen. Die Erhöhung der Gesamtblattfläche ist offensichtlich ein Ausgleichseffekt für die schlechtere Photosynthese und Transpiration pro Blattfläche, der sich während der Wachstums- und Vegetationsphase einstellt. Beim Ökotyp Conventwald fällt auf, daß die Stomatadichte unter Trockenheit reduziert ist. Dies vermindert die Wasserabgabe (allerdings auch die CO₂-Aufnahme) und trägt zum Schutz bei Trockenheit bei. Die Stomatadichte wurde aus Zeitgründen immer nur an zwei Proben untersucht, sie müßte öfter wiederholt werden, um statistisch besser abgesicherte Aussagen treffen zu können.

Tab. 1: Veränderungen durch Trockenstreß gegenüber den Kontrollen (in %) für die gemessenen Parameter bei den einzelnen Buchenökotypen im Conventwald/Südschwarzwald bei Freiburg. (angegeben sind Werte über +/- 10 %). Negative Effekte: rot, positive Effekte: schwarz. C: Conventwald, F: Forbach, R: Ravensburg, UE: Überlingen, Z: Zwiefalten, C(N): Conventwald Naturverjüngung.

			C	F	R	UE	Z	C(N)	
Biometrie	Blattfläche	durchschnittlich	-13		-11	-16			
		gesamt	-28	+70	+33	+31			
	Stomata		-53	+12		-16		+17	
Blattfarbstoffe		a+b			+25			+22	
		a/b							
		(a+b)/(x+c)							
Porometer	dunkel	A	-30	-20	-30	-19	-66	-55	
		E	-84	-45	-55	-62	-73	-48	
		Gs	-87	-39	-51	-63	-94	-27	
	570 µmol m ⁻² s ⁻¹	A	-71	-40	-54	-70	-70	-21	
		E	-83	-42	-58	-67	-81	-38	
		Gs	-90	-48	-64	-66	-97	-30	
	1700 µmol m ⁻² s ⁻¹	WUE	+42	+139	+52	-82	-20	+20	
		A	-62	-15	+11	-28	-22		
		E	-60	-20	+46	-27	-34	+20	
			Gs	-72	-30		-34	-40	
			WUE	-11	+86		-34	+15	-30
Chlorophyllfluoreszenz	690 nm	Fv/Fo			+11				
		Rfd					+23		
	735 nm	Fv/Fo							
		Rfd					+23		
		Ap		-11					

Die Messungen der Blattfarbstoffe und der Chlorophyllfluoreszenzparameter zeigten, daß sich die einzelnen Buchenökotypen und die Conventwald Naturverjüngung essentiell in der Zusammensetzung und Funktion der Thylakoidmembranen nicht unterscheiden. Auch Trockenstreß änderte diesen Bereich des Photosyntheseapparates nicht. Wesentliche Unterschiede zwischen den Ökotypen ergaben sich in der Reaktion der Spaltöffnungen auf

Trockenstreß. Hier fällt besonders auf, daß der Ökotyp Forbach unter dem Trockendach einen höheren Wassernutzungskoeffizient (WUE) besaß, d.h. unter Wassermangel pro assimiliertes CO₂ weniger Wasser transpirierte.

Vergleicht man die Trockenstreßempfindlichkeit der einzelnen Buchenökotypen (Tab. 1), so wird deutlich, daß der Ökotyp Forbach am wenigsten unter Trockenstreß litt und somit langfristig das beste Wachstum zeigen sollte. Angesichts des für die Zukunft erwartenden globalen Temperaturanstiegs mit sommerlichem Wassermangel könnte der Ökotyp Forbach somit am ehesten für den waldbwirtschaftlichen Buchenanbau an Südschwarzwaldstandorten oberhalb 700 m ü. NN, wie der Conventwald bei Freiburg, empfohlen werden.

5 Literatur

- BABANI, F., LICHTENTHALER, H. K. (1996) Light-induced and age-dependent development of chloroplasts in etiolated barley leaves as visualized by determination of photosynthetic pigments, CO₂ assimilation rates and different kinds of chlorophyll fluorescence ratios. *J. Plant Physiol.* Vol. 148: 555-566.
- LICHTENTHALER, H. K. (1987) Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148: 350-382.
- LICHTENTHALER, H. K., BUSCHMANN, C., DÖLL, M., FIETZ, H.-J., BACH, T., KOZEL, U., MEIER, D., RAMSDORF, U. (1981) Photosynthetic activity, chloroplast ultrastructure, and leaf characteristics of high-light and low-light plants and of sun and shade leaves. *Photosynthesis Research* 2: 115-141.
- LICHTENTHALER, H. K., MIEHE, J. A. (1997) Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. *Trends in Plant Science* 2: 316-320.
- LICHTENTHALER, H. K., RINDERLE, U. (1988) The role of chlorophyll-fluorescence in the detection of stress conditions in plants. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry* 19, Suppl. 1, 29-85.
- PANTEL, S., SPECK, B., WENZEL, O., BUSCHMANN, C., LICHTENTHALER, H. K. (1998) Einfluß von Trockenstreß auf die Photosyntheseaktivität verschiedener Ökotypen der Buche (*Fagus sylvatica* L.). PEF-Berichte:
<http://bwplus.fzk.de/pef/diskpef98/lichtenthaler/lichtenthaler.htm>
- SCHINDLER, C., REITH, P., LICHTENTHALER, H. K. (1994) Differential levels of carotenoids and decrease of zeaxanthin cycle performance during leaf development in a green and an aurea variety of Tobacco. *J. Plant Physiol.* Vol. 143: 500-507.
- VOLKMER, C., RENNENBERG, H., (1997) Streßsensitivität von Ökotypen der Buche. *Allg. Forstzeitschrift* 52, 1028-1030.
- VOLKMER, C., EIBELMEIER, M., WEBER, P., RENNENBERG, H. (1998) Untersuchung zur Streßsensitivität der Buche (*Fagus sylvatica* L.): Erste Ergebnisse aus dem "Conventwald-Projekt". PEF-Berichte:
<http://bwplus.fzk.de/pef/diskpef98/rennenberg/rennenberg.htm>
- V. WILPERT, K., KOHLER, M., ZIRLEWAGEN, D. (1996) Die Differenzierung des Stoffhaushalts von Waldökosystemen durch die waldbauliche Behandlung auf einem Gneisstandort des Mittleren Schwarzwaldes. *Mitteilungen der FVA, Baden-Württemberg*, Heft 197.
- ZIMMER-RINDERLE, U. (1990) Chlorophyllfluoreszenz- und Gaswechseluntersuchungen an Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) im Jahresverlauf. *Karlsruher Beiträge zur Pflanzenphysiologie*, Band 19: 1-188.