

Projekt Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen  
zur Luftreinhaltung (PEF)

Zwischenbericht anlässlich des  
Statusseminars der Projektträger des Landes Baden-Württemberg  
am 3. und 4. März 1998 im  
Forschungszentrum Karlsruhe

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

S. Pantel, B. Speck, O. Wenzel, C. Buschmann und H. K. Lichtenthaler  
Universität Karlsruhe

Förderkennzeichen: PEF 197002

Die Arbeiten des Projektes Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung  
werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

# **Einfluß von Trockenstreß auf die Photosyntheseaktivität verschiedener Ökotypen der Buche (*Fagus sylvatica* L.)**

S. Pantel, B. Speck, O. Wenzel, C. Buschmann und H. K. Lichtenthaler

## **Zusammenfassung:**

Am PEF-Standort Conventwald wurden fünf verschiedene, angepflanzte Ökotypen der Buche (*Fagus sylvatica* L.) auf Unterschiede in der Empfindlichkeit gegenüber Trockenstreß geprüft. Siebenjährige Pflanzen der Ökotypen Forbach, Überlingen, Ravensburg und Zwiefalten aus einer Pflanzschule sowie Jungpflanzen des Standortes (Ökotyp Conventwald) und ältere, am Standort auf Stock stehende, d.h. gekürzte Pflanzen der Naturverjüngung (A) wurden vergleichend untersucht. Ein Teil der Versuchsfläche wurde zwischen dem 10. Juli und 13. Oktober 1997 mit durchscheinenden Foliendächern überspannt, um Trockenstreß zu erzeugen. Neben biometrischen Parametern wurde die Photosynthese (CO<sub>2</sub>-Fixierung und Chlorophyllfluoreszenz) und Transpiration gemessen sowie Chlorophyll- und Carotinoidgehalte bestimmt. Der Ökotyp Forbach zeigt die bislang beste Wachstumsleistung. Der Ökotyp Ravensburg hat pro Chlorophyll eine deutlich bessere Photosyntheseleistung als die anderen Buchen-Ökotypen. Im Vergleich zu den angepflanzten Buchen-Ökotypen waren die Transpirationsraten der Pflanzen der Naturverjüngung immer höher. Die erhobenen Meßwerte der CO<sub>2</sub>-Fixierung, Transpiration, stomatären Leitfähigkeit und Chlorophyllfluoreszenz (Rfd-Werte und Fv/Fm-Werte) lassen noch keine gesicherte Unterscheidung in der Empfindlichkeit gegenüber Trockenstreß der Ökotypen zu. Ein Grund hierfür könnte die 1997 am Standort vorherrschende trockene Witterung sein.

## **Summary:**

### **Influence of water stress on the photosynthetic activity of different ecotypes of the beech (*Fagus sylvatica* L.)**

At the PEF test-site Conventwald five different ecotypes of beeches were planted and tested for differences in the sensitivity against water stress. Seven-year-old plants of the ecotypes Forbach, Überlingen, Ravensburg and Zwiefalten from a plantation station and young plants from the test-site (ecotype Conventwald) and older plants from the natural rejuvenescence on the test-site were comparatively investigated. One part of the test area was covered with transparent foils between the 10<sup>th</sup> of July and the 13<sup>th</sup> of October 1997 in order to induce water stress. Besides biometric parameters, photosynthetic (CO<sub>2</sub>-fixation and chlorophyll fluorescence), transpiration and content of chlorophylls and carotenoids were determined. The Forbach ecotype showed better growing performance and the Ravensburg ecotype a clearly better photosynthetic activity on a chlorophyll basis as compared to the other ecotypes. In comparison to the planted ecotypes, the photosynthetic and transpiration rates of the young beeches from the natural rejuvenescence were always higher. The data for CO<sub>2</sub>-fixation, transpiration, stomatal conductance and variable chlorophyll fluorescence (Rfd-values and Fv/Fm-values) do not yet allow a clear differentiation in the sensitivity to water stress between the ecotypes. One reason for this could be the very dry weather in 1997.

## 1 Einleitung

Nach Schäden an Nadelbäumen traten in den letzten Jahren vermehrt Schäden an Laubbäumen, auch an der weit verbreiteten Buche (*Fagus sylvatica* L.), auf. Neben Luftschadstoffen werden heute zunehmend auch klimatische Faktoren für solche Pflanzenschäden verantwortlich gemacht. Die zunehmende Diskussion in den letzten Jahren über trockenheitsbedingte Beeinträchtigungen bei Buchen gab mit Anlaß, nach Buchen-Ökotypen zu suchen, die an Trockenheit besser angepaßt sind. Am PEF-Standort Conventwald bei Freiburg wurden 1996 fünf Buchen-Ökotypen verschiedener baden-württembergischer Standorte als sechsjährige Jungpflanzen ausgepflanzt. Jeweils ein Teil der Pflanzen wurde 1997 Jahr mit einer Folie überdacht, um diese einer zunehmenden Trockenheit auszusetzen. Die einzelnen Buchen-Ökotypen und Pflanzen der älteren, am Standort auf Stock stehenden Naturverjüngung (A) wurden miteinander verglichen. An den Untersuchungen waren drei Arbeitsgruppen beteiligt, die parallel zueinander sich ergänzende Parameter erhoben. In diesem Beitrag stellt die Arbeitsgruppe Lichtenthaler (Botanik II, Universität Karlsruhe) ihre Ergebnisse dar, die neben biometrischen Wachstumsparametern auch Photosynthese- und Transpirationmessungen ( $\text{CO}_2$ -/ $\text{H}_2\text{O}$ -Gaswechsel) sowie Chlorophyllfluoreszenzkinetiken und Messungen der Blattfarbstoffgehalte umfaßten.

## 2 Material und Methoden

Der Conventwald, im Mittleren Schwarzwald bei Freiburg (700 - 860 m über NN) gelegen, wird seit Jahren von der Forstlichen Versuchsanstalt Freiburg (FVA) untersucht. Die Versuchsfläche mit einer Größe von ca. 26 x 28 m liegt an einem schwer zugänglichen Hang mit einer teilweise bis zu 50%-igen Steigung. Der Boden besteht aus tiefgründiger, mesotropher Braunerde, die sehr steinig mit dunklen Paragneisen durchsetzt ist. Die langjährige, mittlere Niederschlagsmenge beträgt am Standort 1400 mm/Jahr. Im Meßzeitraum vom 12.6. bis 2.10.1997 fiel jedoch eine weit unterdurchschnittliche Menge an Niederschlag (Quelle: FVA, unveröffentlicht). Auf der naturnah belassenen Fläche stehen vereinzelt 40-60 Jahre alte Buchen, die der Versuchsfläche zeitweilig wechselnden Schatten geben. Die Arbeitsgruppe Rennenberg (Institut für Baumphysiologie, Universität Freiburg) betreut die Fläche und pflanzte 1996 jeweils 100 Pflanzen der verschiedenen Buchen-Ökotypen in wechselnden Fünfergruppen an. Für die Trockenstreßbedingungen wurde am 10.7.1997 ein Teil der Versuchsfläche mit einem lichtdurchlässigen Foliendach (PVC, bis ca. 90% UVA durchlässig) in einer Höhe von 1,60 m überspannt. Um wurzelnah abfließendes Bodenwasser auszuschließen, wurden am oberen Rand der Trockenflächen Folien in den Boden eingegraben. Am 13. Oktober 1997 wurden die Folien wieder entfernt. Die Untersuchungen im Conventwald wurden an Ökotypen siebenjähriger Buchen aus Forbach (F), Überlingen (UE), Ravensburg (R), Zwiefalten (Z) und Conventwald (C) durchgeführt. Die vier erstgenannten Buchen-Ökotypen stammen aus dem Genressourcenprogramm des Landes Baden-Württemberg und wurden in der Emmendinger Pflanzschule der FVA angezogen. Der Ökotyp Conventwald stammt aus umgepflanztem Jungbestand des Standortes. Auf der Versuchsfläche vorhandene ältere, zurückgeschnittene Pflanzen der Naturverjüngung (A) wurden in die Messungen miteinbezogen. Für die Untersuchungen wurden jeweils einzelne Pflanzen markiert und wiederholt gemessen.

An den Tagen am 12.6.97, 2.7.97, 18.7.97, 30.7.97, 14.-19.8.97, 5.9.97, 26.9.97, 27.9.97, 1.10.97 und 2.10.97 wurden die im folgenden beschriebenen Messungen durchgeführt.

## Trockenstreß

Für die **Bonetierung** des Bestandes wurden biometrische Werte erfaßt. Den erhobenen Werten 'Hauptsproßlänge' und 'Prozent Pflanzen mit visuellen Schäden' liegt jeweils der Gesamtbestand der Versuchsfläche zugrunde. Der Parameter 'Blattfläche' wurde als Rechteck (Länge x Breite: Rechteckapproximation) angegeben und mit  $n = 30$  aufgenommen.

Die **Pigmente** der Blätter, Chlorophyll a und b und Carotinoide ( $x+c$ ), wurde im Labor spektralphotometrisch über ein 100%-iges Acetonextrakt aus Stanzstücken ermittelt. Mit Hilfe der Extinktionskoeffizienten nach LICHTENTHALER (1987) wurden die Gehalte errechnet.

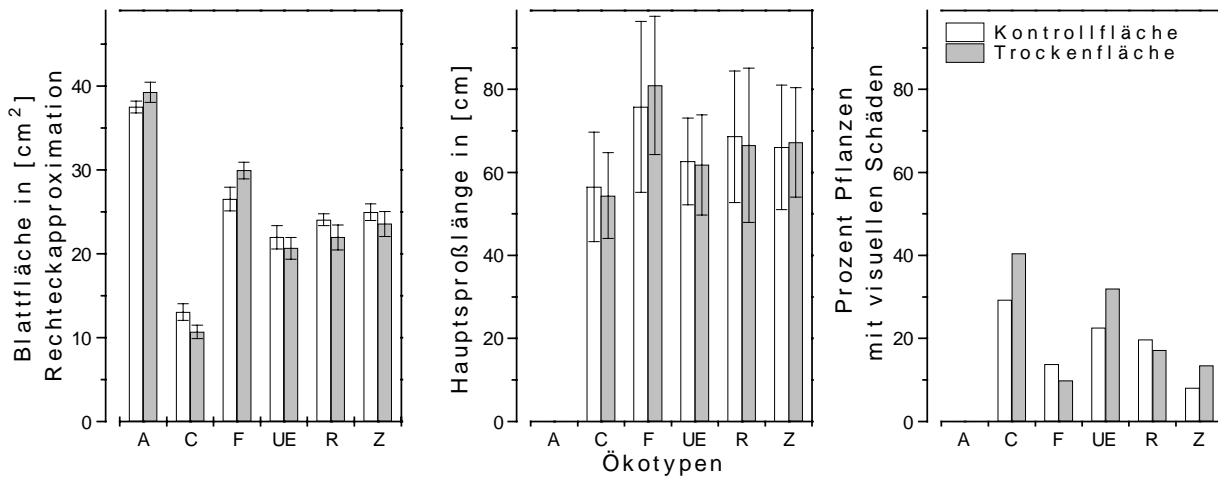
Mit einem tragbaren **CO<sub>2</sub>-/H<sub>2</sub>O-Porometer** (ADC, LCA-4, Leihgerät der Fa. Bernt, Düsseldorf) wurde die maximale Photosyntheseleistung, die Transpiration und stomatäre Leitfähigkeit bei Lichtsättigung ( $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , mit Hilfe einer 50 Watt Halogenlampe) von in der Regel sechs Einzelpflanzen der verschiedenen Buchen-Ökotypen ermittelt. Die **Chlorophyllfluoreszenz-Induktionskinetiken** wurden mit einem neuen, tragbaren Zwei-Wellenlängen Fluorometer, BUKA - CFM 636973, aufgenommen, welches in Zusammenarbeit mit der TU Budapest, Lehrstuhl Atomphysik entwickelt und von Herrn Dr. Kocsanyi, Budapest gebaut wurde. Der Diodenlaser hat eine Anregungswellenlänge von 635 nm und erfaßt die Chlorophyllfluoreszenz bei einer Wellenlänge von 690 und 735 nm. Die variable Chlorophyllfluoreszenz in Form der Rfd-Werte ( $Rfd = \text{Ratio fluorescence decrease} = Fd/Fs$ ) die als Vitalitätsindex fungieren (LICHTENTHALER UND MIEHE, 1997), sowie das Verhältnis  $F_V/F_M$  wurden mit diesem Gerät computergestützt ermittelt. Als Blattproben wurden Oberseiten von Blattstanzstücken mit einem Durchmesser 9 mm bei jeweils drei Einzelpflanzen gemessen. Die Stanzstücke wurden anschließend für die Pigmentbestimmung verwendet.

### 3 Ergebnisse

Über den Zeitraum vom 12. Juni bis 2. Oktober 1997 sind verschiedene Parameter zur grundlegenden physiologischen Charakterisierung erfaßt worden, die hier einzeln vorgestellt werden.

Zur Bonetierung des Bestandes wurden als biometrische Merkmale die **Blattfläche**, die **Hauptsproßlänge** und der **Prozentanteil von Pflanzen mit visuellen Schäden** aufgenommen (Abb. 1). Der Ökotyp Forbach hatte im Vergleich mit den anderen Buchen-Ökotypen die höchsten Werte für die Blattfläche und die Sproßlänge. Bei diesem Ökotyp gab es auch den geringsten Anteil an Pflanzen mit visuellen Schäden wie z.B. starker Kümmerwuchs, Kleinwuchs in Blatt und Sproß oder teilweise bis ganz abgestorbene oder vertrocknete Pflanzen. Der Ökotyp Conventwald (C) und mit Abstufung auch der Ökotyp Überlingen (UE) besaßen sowohl auf der Trockenfläche als auch auf der Kontrollfläche die schlechtesten Werte der biometrischen Merkmale.

Die **Chlorophyllgehalte a und b** der Buchenblätter (Abb. 2) bewegten sich nach der bis in den Juni hineinreichenden Ergrünungsphase bei allen untersuchten Buchen-Ökotypen der Trocken- und Kontrollfläche im Bereich zwischen 340 und 410  $\text{mg/m}^2$  (Tab. 1). Sie lagen damit etwas niedriger als bei Schattenblättern ausgewachsener Buchen (vgl. ca. 450  $\text{mg/m}^2$ , LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988). Die Buchen-Ökotypen Überlingen, Zwiefalten und Ravensburg zeigten gegen Ende der ungewohnt langen Vegetationsperiode 1997 ein leichtes Absinken der Chlorophyllgehalte bei Pflanzen der Trockenfläche gegenüber den Pflanzen der Kontrollfläche (Abb. 2). Das **Verhältnis der Chlorophylle a/b** ist bei allen Pflanzen im Schnitt mit 2,7 über die gesamte Vegetationsperiode hinweg sehr konstant (Tab. 1).



**Abb. 1:** Blattfläche als Rechteckapproximation [cm<sup>2</sup>], Hauptproßlänge [cm] und Prozentanteil Pflanzen mit visuellen Schäden bei Buchen auf der Kontrollfläche (weiße Balken) und der Trockenfläche (graue Balken) am Standort Conventwald. Ökotypen: ältere, auf Stock stehende Pflanzen der Naturverjüngung (A), Conventwald (C), Forbach (F), Überlingen (UE), Ravensburg (R) und Zwiefalten (Z). Pflanzen der Naturverjüngung (A) zeigten keine visuellen Schäden.

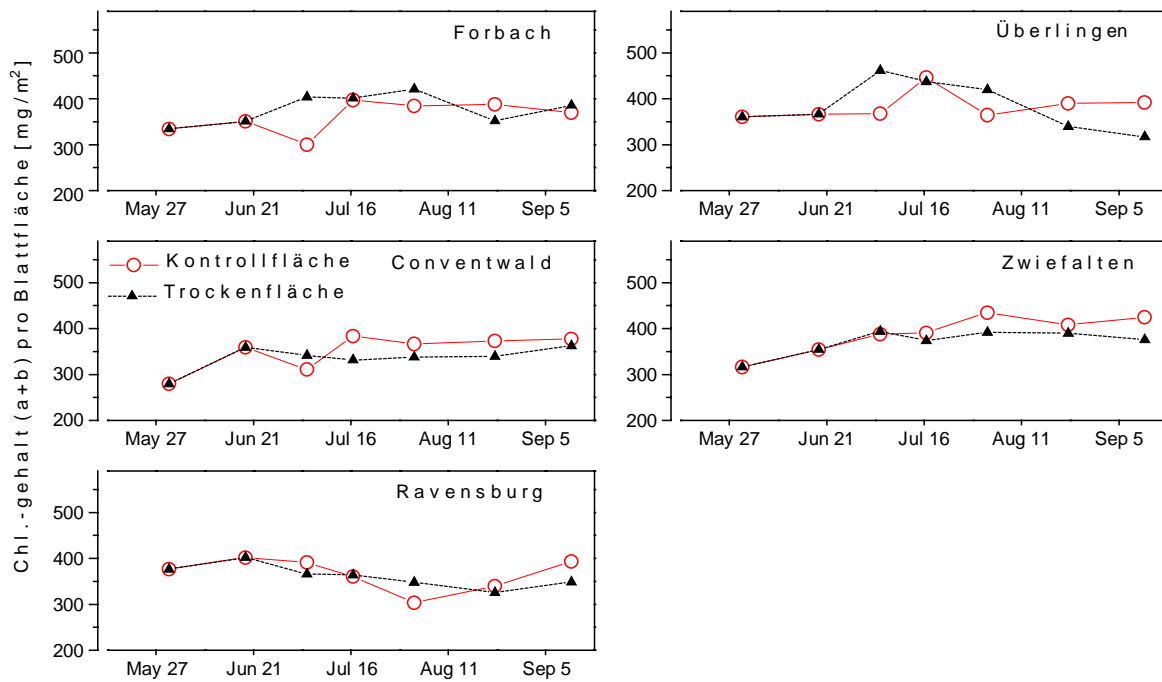
**Tab. 1:** Durchschnittswerte mit Standardabweichungen ( $\pm$  SD) des Gesamtchlorophyllgehaltes (a+b) pro Blattfläche, der Verhältnisse der Chlorophylle a/b und der Chlorophylle zu den Carotinoiden (a+b)/(x+c) für die einzelnen Ökotypen der Buche nach vollständigem Ergrünen von Juli bis Oktober 1997.

	a+b [mg/m <sup>2</sup> ]		a/b		(a+b)/(x+c)	
		$\pm$ SD		$\pm$ SD		$\pm$ SD
<b>Kontrollfläche</b>						
Conventwald	361,8	29,3	2,73	0,15	5,11	0,29
Forbach	367,6	39,1	2,78	0,20	4,94	0,39
Überlingen	391,3	32,6	2,74	0,13	5,17	0,22
Ravensburg	357,1	37,7	2,76	0,10	5,15	0,19
Zwiefalten	408,5	20,5	2,74	0,15	5,20	0,20
<b>Trockenfläche</b>						
Conventwald	342,0	11,5	2,71	0,17	5,11	0,23
Forbach	392,3	26,1	2,72	0,12	5,18	0,25
Überlingen	394,5	63,4	2,69	0,13	5,11	0,63
Ravensburg	349,7	16,0	2,79	0,10	5,25	0,41
Zwiefalten	384,5	09,5	2,69	0,08	5,22	0,28

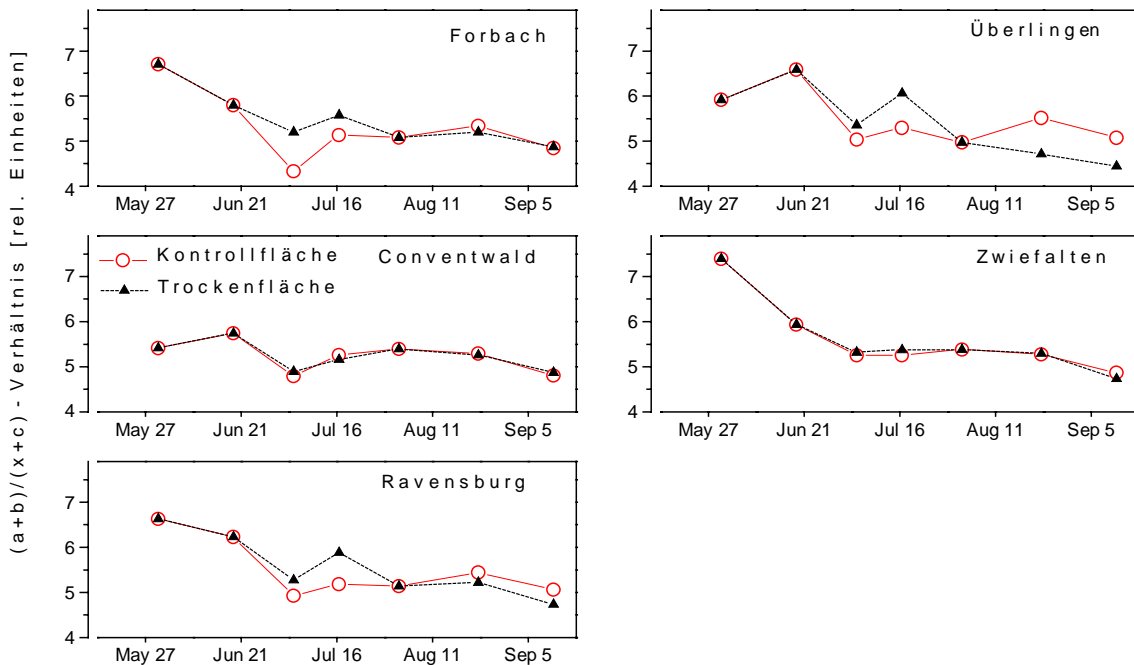
Das Verhältnis **Chlorophylle zu Carotinoiden** (a+b)/(x+c) der Buchen-Ökotypen hingegen erreichte nach der Ergrünungsphase mit Werten von 5,0 bis 5,3 für Buchen typische Werte (LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988) und zeigte Anfang Oktober bei allen Gruppen ein deutliches Absinken im Vergleich zum Frühjahr (Abb. 3).

Die Messungen mit dem CO<sub>2</sub>-/H<sub>2</sub>O-Porometer (Abb. 4) zeigten, daß alle Buchen auf der Trockenfläche deutlich geringere **Photosyntheraten** (P<sub>N</sub>) und **Transpirationsraten** (E) aufwiesen als die Pflanzen der Kontrollfläche. Ein Trockeneffekt war bei allen Buchen-Ökotypen festzustellen. Im Vergleich zu den angepflanzten Buchen-Ökotypen wiesen die Pflanzen der zurückgeschnittenen Naturverjüngung (A) zu Beginn der Trockenphase noch wesentlich höhere

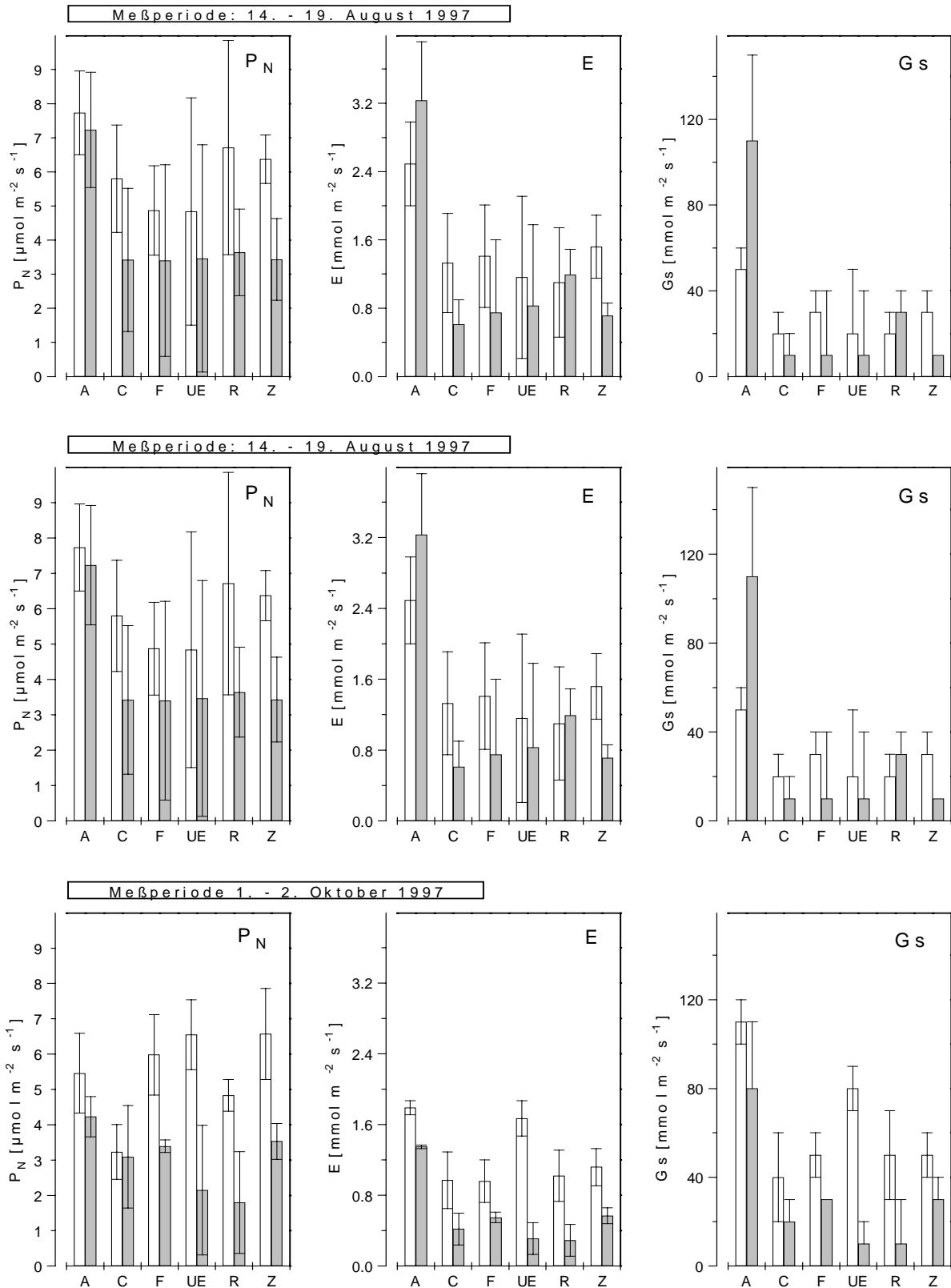
# Trockenstreß



**Abb. 2:** Chlorophyllgehalte (a+b) pro Blattfläche bei den einzelnen Ökotypen der Buche im Verlauf der Vegetationsperiode 1997 auf der Kontrollfläche (offene Kreise) und der Trockenfläche (gefüllte Dreiecke) am Standort Conventwald.



**Abb. 3:** Werte für das Verhältnis der Chlorophylle zu den Carotinoiden  $(a+b)/(x+c)$  bei den einzelnen Ökotypen der Buche im Verlauf der Vegetationsperiode 1997 auf der Kontrollfläche (offene Kreise) und der Trockenfläche (gefüllte Dreiecke) am Standort Conventwald.



**Abb. 4:** Photosyntheserate ( $P_N$ ), Transpirationsrate ( $E$ ) und stomatare Leitfähigkeit ( $G_s$ ) der einzelnen Buchen-Ökotypen am Standort Conventwald zu den angegebenen drei Meßperioden. Kontrollfläche: (weiße Balken), Trockenfläche: (graue Balken). Pflanzen der Naturverjüngung (A), Conventwald (C), Forbach (F), Überlingen (UE), Ravensburg (R) und Zwiefalten (Z).

## Trockenstreß

Transpirationsraten auf. Dies erklärt sich aus der stärkeren Bewurzelung dieser Pflanzen im Vergleich zu den kürzeren Wurzeln der angepflanzten Buchen-Ökotypen. Die **stomatäre Leitfähigkeit (Gs)** der Pflanzen der Naturverjüngung (A) sowohl der Kontroll- als auch der Trockenfläche war stets deutlich größer als die der angepflanzten Buchen und unabhängig von deren Ökotyp oder Standort auf der Versuchsfläche. Dies ist auf die bessere Wasserversorgung und dadurch stärker geöffnete Stomata bei der Naturverjüngung (A) zurückzuführen.

Die lineare Abhängigkeit der **Photosyntheserate ( $P_N$ )** von der **stomatären Leitfähigkeit (Gs)** (Abb. 5, oben) ist beispielhaft für den Ökotyp Ravensburg (links) und Pflanzen der Naturverjüngung (A) (rechts) für die Kontroll- und Trockenfläche dargestellt. Bei gleicher Photosyntheseleistung war der Öffnungsgrad der Stomata (stomatäre Leitfähigkeit) bei den angepflanzten Buchen im Vergleich zu den Pflanzen der Naturverjüngung (A) wesentlich geringer. Für beide Buchen-Ökotypen wurden bei gleicher photosynthetischer  $CO_2$ -Fixierungsrate auf der Trockenfläche größere stomatäre Leitfähigkeiten (größere Öffnungsweiten) gemessen als auf der Kontrollfläche. Dies ist ungewöhnlich, da bei Trockenheit eher ein Schließen der Stomata zu erwartet wäre. Dies kann als Überkompensation bei chronischem Mangel an Wasser und Assimilaten gesehen werden, könnte aber auch auf eine gestörte Stomataregulation (Kalium-Mangel) hinweisen.

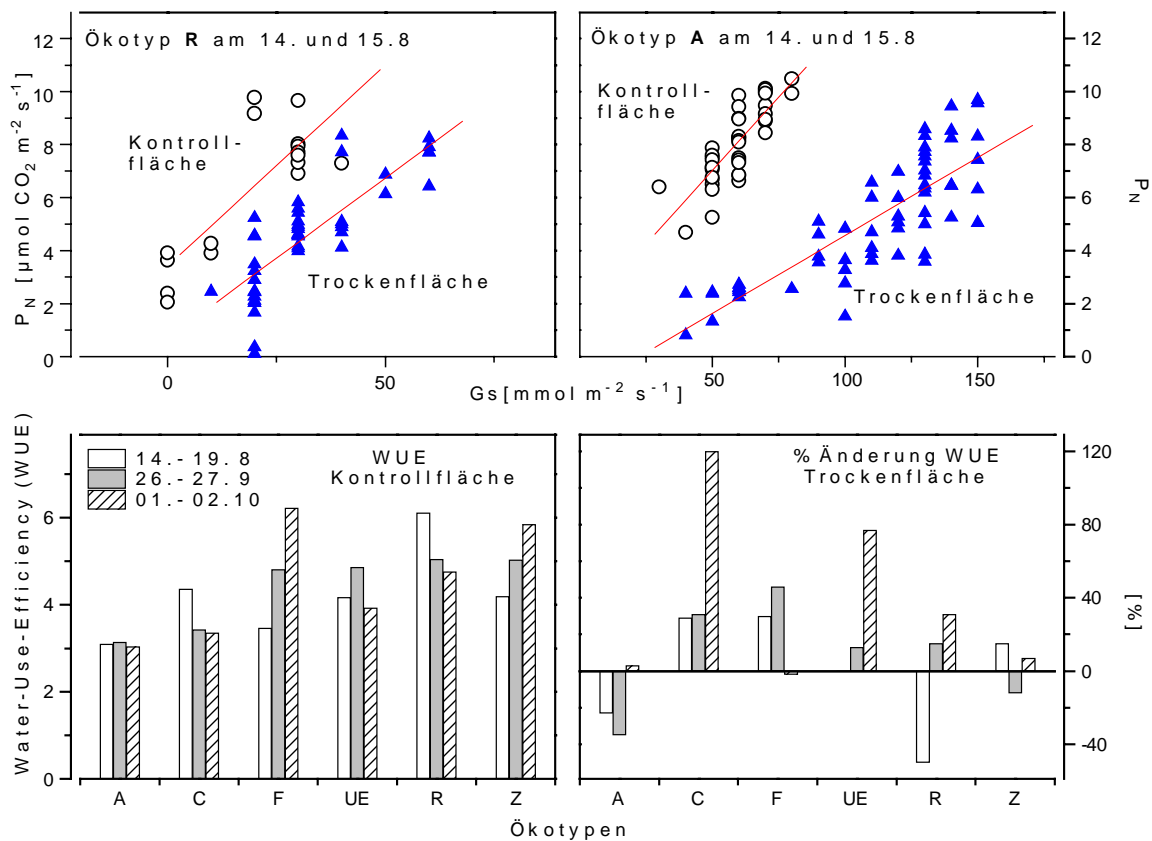
Der **Wasser-Nutzungs-Koeffizient** (engl.: Water-Use-Efficiency, WUE) (Abb. 5, unten) aller angepflanzten Buchen-Ökotypen war stets höher als jener, der Pflanzen der Naturverjüngung (A). Dies ergibt sich aus der geringeren Transpiration der angepflanzten Buchen-Ökotypen. Im Vergleich zur Kontrollfläche zeigte sich bei den Pflanzen der Trockenfläche besonders bei den Ökotypen Conventwald, Überlingen und Ravensburg über die Meßperioden hinweg ein deutliches prozentuales Ansteigen des Wasser-Nutzungs-Koeffizienten (WUE).

Bei der **Photosyntheserate bezogen auf Gesamtchlorophyll a+b** ergaben sich ähnliche Unterschiede wie in bezug auf die Blattfläche. Auf der Trockenfläche waren die Werte niedriger als auf der Kontrollfläche (Abb. 6). Die photosynthetische Nutzung des Sonnenlichtes war unter Trockenstreß stark vermindert. Die beste Photosyntheseleistung bezogen auf Chlorophyllgehalt oder Blattfläche zeigte der Ökotyp Ravensburg (Abb. 4 und 6).

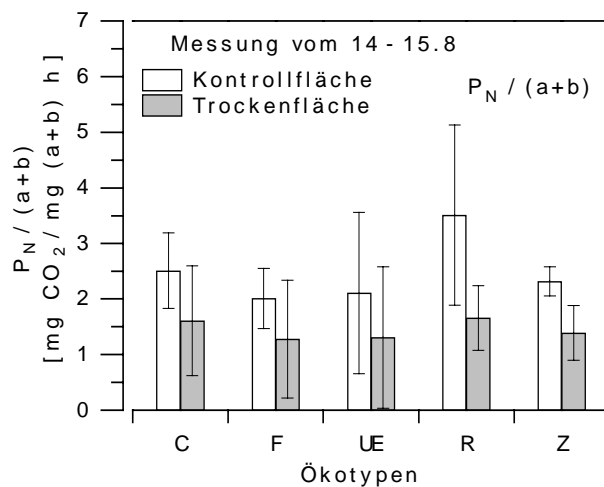
Mit Hilfe der einzelnen Chlorophyllfluoreszenzparameter ließen sich auf der Kontrollfläche für 1997 keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Buchen-Ökotypen nachweisen. Die **Rfd-Werte**, deren Höhe ein Maß für den photosynthetischen Elektronentransport ist (LICHTENTHALER UND RINDERLE, 1988), lagen im erwarteten Bereich zwischen 2,5 und 3,5 (Abb. 7) (ZIMMER - RINDERLE, 1990). Beim Vergleich der Rfd 690-Werte der Monate Juni/Juli und dem trockenen August ergab sich für den August bei den Pflanzen der Trockenfläche und zwar bei den Ökotypen F, UE und R ein Absinken der Rfd-Werte von 3,2 auf Durchschnittswerte um 2,5 (Abb. 7). Dies ist ein deutliches Zeichen für kurzfristige Schädigungen des Photosyntheseapparates im August.

Das Verhältnis der variablen Chlorophyllfluoreszenz  $F_V/F_M$  (Abb. 8), ein Indikator für die maximale Quantenausbeute des photosynthetischen Elektronentransportes von Photosystem II (KITAJIMA UND BUTLER, 1975), lag mit Werten um 0,85 bei allen Buchen-Ökotypen im Bereich gesunder Pflanzen. In diesem relativ trägen Parameter unterschieden sich die einzelnen Ökotypen nicht. Austrocknung zeigte hier keinen Einfluß.



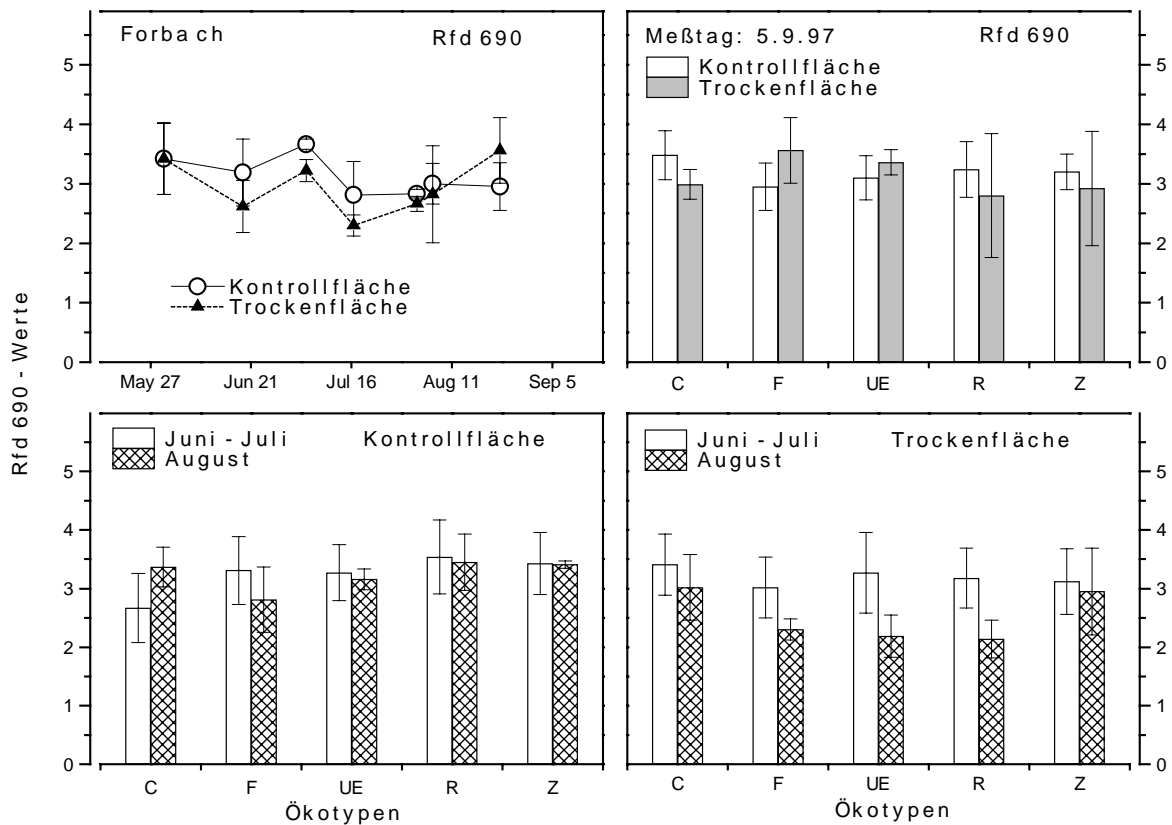


**Abb. 5:** **Oben:** Zusammenhang zwischen Photosyntheserate ( $P_N$ ) und stomatären Leitfähigkeit ( $G_s$ ) dargestellt am Beispiel des Ökotyp Ravensburg (R) (**links**) und der Pflanzen der Naturverjüngung (A) (**rechts**). Kontrollfläche: (offene Kreise), Trockenfläche: (gefüllte Dreiecke). **Unten:** Wasser-Nutzungs-Koeffizient (engl.: Water-Use-Efficiency, WUE) ermittelt bei allen Ökotypen der Buche während drei aufeinanderfolgender Meßperioden (**links**) und dazu die prozentuale Veränderung des WUE bei den Pflanzen der Trockenfläche im Vergleich zur Kontrollfläche (**rechts**). Meßperiode: 14.-19.8. (weiße Balken), 26.-27.9. (graue Balken) und 1.-2.10. (schraffierte Balken). Abkürzungen der Ökotypen: siehe Abb. 1.

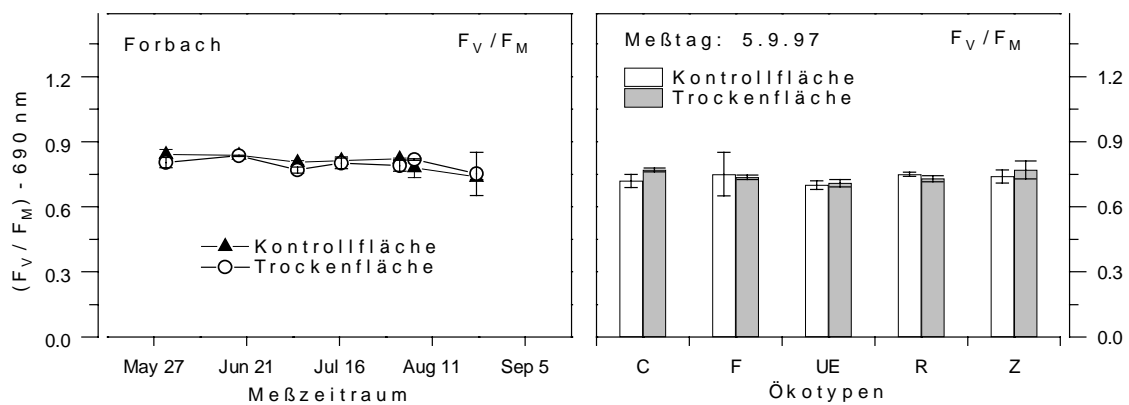


**Abb. 6:** Photosyntheserate ( $P_N$ ) bezogen auf Chlorophyll a und b bei den verschiedenen Ökotypen der Buche am Standort Conventwald. Meßwerte vom 15. August 1997. Kontrollfläche: (weiße Balken), Trockenfläche: (graue Balken). Abkürzungen der Ökotypen: siehe Abb. 1.

# Trockenstreß



**Abb. 7: Oben:** Werte der variablen Chlorophyllfluoreszenz bei 690 nm (Rfd = Ratio fluorescence decrease). Verlauf während der Vegetationsperiode 1997 beispielhaft für den Ökotyp Forbach (**links**). Kontrollfläche: (offene Kreise), Trockenfläche: (gefüllte Dreiecke). Rfd 690-Werte für die einzelnen Buchen-Ökotypen beispielhaft für den Meßtag 5. September 1997 (**rechts**). Kontrollfläche: (weiße Balken), Trockenfläche: (graue Balken). **Unten:** Rfd 690 - Werte der Kontrollfläche (**links**) und Trockenfläche (**rechts**) bei den einzelnen Ökotypen im Juni bis Juli (weiße Balken) und im darauffolgenden sehr trocken-warmen August des Jahres 1997 (schraffierte Balken). Abkürzungen der Ökotypen: siehe Abb. 1.



**Abb. 8: Links:** Verlauf der maximalen Quantenausbeute gemessen über die Chlorophyllfluoreszenz ( $F_v/F_m$ ) beim Ökotyp Forbach an verschiedenen Meßtagen. **Rechts:** Exemplarisch der Vergleich zwischen den verschiedenen Buchen-Ökotypen am Meßtag 5. September 1997. Kontrollfläche: (offene Kreise) Trockenfläche: (gefüllte Dreiecke). Abkürzungen der Ökotypen: siehe Abb. 1.

Dies unterstreicht, daß die wesentlich sensitiveren Chlorophyllfluoreszenz-Parameter für die photochemische Quantennutzung die Rfd-Werte darstellen. Das Verhältnis  $F_v/F_m$ , im nicht funktionellen „state 1“ des Photosyntheseapparates gemessen, ist weniger aussagekräftig als die Rfd-Werte, die in der Bewertung auch den funktionellen „state 2“ des Photosyntheseapparates enthalten.

#### 4 Diskussion und Ausblick

Bei den biometrischen Parametern sind die Werte des Ökotyps Conventwald immer ungünstiger als die der anderen Buchen-Ökotypen. Dies erklärt sich zum Teil daraus, daß die Pflanzen des Ökotyps Conventwald nur umgepflanzt, nicht aber wie die anderen Ökotypen in der Pflanzschule aufwachsen. Ein Vergleich aller angepflanzten Ökotypen zeigte auf der Kontrollfläche bei der Photosynthese, Transpiration und stomatären Leitfähigkeit sowie bei den Werten der Chlorophyllfluoreszenz keine signifikanten Unterschiede. Die zunehmende Austrocknung des Bodens der überdachten Trockenfläche spiegelte sich allerdings in geringeren Werten der Photosyntheseleistung im Vergleich zu den Pflanzen der Kontrollfläche wieder. Auch zeigten sich z.B. in der signifikanten Abnahme der Rfd 690-Werte im August bei den Ökotypen F, UE und R Unterschiede in der photochemischen Quantennutzung. Offenbar war bei diesen Ökotypen der Photosyntheseapparat im August geschädigt, hat sich aber im Herbst erholt, wie die dann wieder höheren Rfd-Werte zeigen. Bei den Ökotypen C, UE, und R und teilweise auch F nahmen der Trockenstreß und die Wassernutzungseffizienz WUE mit zunehmender Trockenheit zu. Dies sind deutliche Zeichen einer unterschiedlichen Anpassung der Ökotypen an Trockenheit. Da im Sommer 1997 auch auf der Kontrollfläche teilweise Trockenstreß (u.a. im August) vorlag, konnten die zwischen den Ökotypen hinsichtlich relativer Trockentoleranz offenbar vorhandenen Unterschiede noch nicht deutlich genug herausgearbeitet werden.

Zwischen der Kontroll- und Trockenfläche trat in der oberflächennahen Bodenfeuchte eine Differenz im absolutem Wassergehalt von maximal 13% auf (Quelle: FVA). Die signifikant höhere Transpiration und stomatäre Leitfähigkeit bei den Pflanzen der Naturverjüngung (A) mit schon tiefergehenden Wurzeln im Vergleich zu den angepflanzten Buchen zeigt wie wichtig die Wurzelbildung für Photosynthese, Transpiration und Wachstum der Jungbuchen ist.

Für 1998 sind weitere Gaswechsellmessungen zur Photosynthese, Transpiration und stomatären Leitfähigkeit über die ganze Vegetationsperiode hinweg erforderlich, um die sich andeutenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Buchen-Ökotypen zu quantifizieren und Aussagen über deren Trockenstreßsensitivität machen zu können, was eine wesentliche Voraussetzung für die Empfehlung eines bestimmten Ökotyps der Buche für den Anbau in mittleren und höheren Lagen des Schwarzwaldes darstellt. Der Ökotyp Ravensburg scheint ein solcher Typ zu sein, was aber unter den klimatischen Bedingungen über die Vegetationsperiode hinweg von 1998 zu überprüfen ist. Hierzu müssen an Einzelpflanzen mehrfach auch Tagesgangmessungen mit einem tragbaren Porometer gemacht werden. Desweiteren muß der Mineralstoffstatus der Pflanzen, insbesondere der Kalium- und Stickstoffgehalt der Blätter, erfaßt werden, um die 1997 erkennbaren Unterschiede in der Stomataregulation und in der Stickstoffnutzungseffizienz herauszuarbeiten.

## 5 Literatur

- KITAJIMA, H. UND BUTLER, W.L. (1975) Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. *Biochem. Biophys. Acta* 376, 105-115.
- LICHTENTHALER, H.K. (1987) Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 148, 350-382.
- 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.
- LICHTENTHALER, H.K., MIEHE, J.A., (1997) Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. *Trends in plant science* 2, 316-320.
- VOLKMER, C., RENNENBERG, H., (1997) Streßsensitivität von Ökotypen der Buche. *Allg. Forstzeitschrift* 52, 1028-1030.
- 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.*