

**Fotosyntheseleistung von Zweigelt-Reben (*Vitis vinifera* L.)  
im pannonischen Klimaraum  
Einfluss von Wasserversorgung, Blattalter und Kaliumversorgung**

Dissertation

eingereicht von  
Dipl.-Ing. Mathilde Knoll

Betreuer: Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Redl

Durchgeführt am Institut für Pflanzenschutz, DAPP, Universität für Bodenkultur, Wien

Wien, März 2008

## **Mein Dank gilt**

- ☀ Ao. Univ. Prof. Dr. Helmut Redl für die Betreuung der Arbeit, die stets konstruktive und lebhaftige Diskussion und die gute Zusammenarbeit
- ☀ Ao. Univ. Prof. Dr. Silvia Kikuta, die sich bereit erklärte, die Arbeit als Zweitbegutachterin zu beurteilen, für die genaue Durchsicht der Arbeit
- ☀ Der Winzergenossenschaft Andau, die mir ermöglichte, im Rahmen des Projektes zur Untersuchung der Traubenwelke im Burgenland die Messungen für die Arbeit durchzuführen, und allen beteiligten Winzern für die Bereitstellung der Versuchsflächen
- ☀ Meiner lieben Kollegin Dorli für die anregende Zusammenarbeit und ihren wesentlichen Beitrag dazu, das Fotosynthese-Messgerät rechtzeitig in Gang zu setzen
- ☀ Meiner Familie für ihre Unterstützung während des Studiums und ihre tatkräftige Mithilfe als Oma, Opa und Tanten
- ☀ Alexanders Familie, die mir ebenso als Larissas Oma, Opa, Tanten und Onkeln zur Seite standen
- ☀ Meinem Freund Alexander, der mich zu jedem Zeitpunkt unterstützt hat und mir geholfen hat, den Blick für das Wesentliche zu behalten

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
1.1	Wasserversorgung .....	5
1.2	Kaliumversorgung .....	8
<b>2</b>	<b>Problemstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>13</b>
3.1	Beschreibung der Standorte .....	13
3.2	Boden und Klima.....	13
3.2.1	Bodenkundliche Grundlagen .....	13
3.2.2	Klimatologische Grundlage.....	15
3.3	Witterung und Phänologie.....	15
3.4	Messverfahren .....	16
3.4.1	Blattwasserpotenzial.....	16
3.4.2	Gaswechsel .....	16
3.4.3	Blattflächen .....	18
3.4.4	Nährstoffanalyse Rebblatt .....	18
3.5	Versuchsvarianten .....	19
3.5.1	Zusatzbewässerung.....	19
3.5.2	Laubwandhöhe .....	20
3.5.3	Bodendüngung .....	21
3.5.4	Blattdüngung.....	22
3.6	Fragestellungen .....	23
3.6.1	Bewässerung .....	23
3.6.1.1	Wasserpotenzialmessung.....	23
3.6.1.2	Gaswechselformen.....	23
3.6.1.3	Bestimmung des Wassergehalts im Boden mittels Adcon-Sensoren .....	24
3.6.2	Gaswechselleistung der Blätter unterschiedlicher Insertionshöhen im Jahresverlauf ....	24
3.6.3	Gaswechselleistung unterschiedlicher Laubwandbereiche in Abhängigkeit von Bewässerung und Laubwandhöhe .....	25
3.6.4	Kaliummangel an Blättern – Symptome, Bonitur, Gaswechselformen .....	26
3.6.5	Gaswechsel in Abhängigkeit der Bodendüngung.....	27
3.6.6	Gaswechsel in Abhängigkeit der Blattdüngung .....	27
3.7	Statistische Auswertung.....	27
3.8	Verwendete Abkürzungen.....	28
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>29</b>
4.1	Witterung und Phänologie.....	29
4.2	Bewässerung .....	35

4.2.1	Verlauf des Predawn Water Potentials und des Wassergehalts im Boden in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten .....	35
4.2.2	Einfluss der Bewässerungsvarianten auf den Tagesverlauf des Blattwasserpotenzials	43
4.2.3	Einfluss der Bewässerung auf den Gaswechsel der Reben .....	50
4.2.3.1	Gaswechsel im Tagesverlauf.....	50
4.2.3.2	Leistungsfähigkeit der Rebblätter in Form von A-Q-Kurven .....	63
4.2.4	Zusammenhang zwischen Predawn Water Potential und Gaswechsel der Reben .....	67
4.3	Gaswechselleistung der Blätter unterschiedlicher Insertionshöhen im Jahresverlauf .....	69
4.3.1	Verlauf der Trieb- und Blattentwicklung.....	69
4.3.2	Gaswechsel in Abhängigkeit von der Insertionshöhe.....	75
4.3.3	Gaswechsel in Abhängigkeit vom Blattalter .....	86
4.3.4	Blattfläche in Abhängigkeit vom Blattalter .....	92
4.3.5	Gaswechsel von Sonnen- und Schattenblättern unter natürlicher und künstlicher Belichtung.....	97
4.4	Gaswechsel von Blättern unterschiedlicher Laubwandzonen in Abhängigkeit von Bewässerungsvarianten und Laubwandhöhe .....	101
4.4.1	Gaswechsel bei unterschiedlicher Laubwandhöhe .....	101
4.4.2	Gaswechsel in Abhängigkeit der Bewässerung .....	108
4.5	Kaliumversorgung .....	118
4.5.1	Gaswechsel in Abhängigkeit von Kaliummangelsymptomen am Rebblatt .....	118
4.5.2	Kaliumdüngung.....	131
4.5.2.1	Blattdüngung .....	131
4.5.2.2	Lanzendüngung .....	134
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>136</b>
5.1	Diskussion allgemein .....	136
5.2	Diskussion Bewässerung.....	139
5.2.1	Einfluss der Bewässerung auf das Wasserpotenzial der Reben .....	139
5.2.2	Einfluss der Bewässerung auf den Gaswechsel der Reben .....	141
5.3	Diskussion Gaswechsel der Blätter unterschiedlicher Insertionshöhen im Jahresverlauf.....	146
5.4	Diskussion Gaswechsel der einzelnen Laubwandzonen .....	150
5.5	Diskussion Kaliumversorgung.....	152
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>155</b>
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>156</b>

# 1 Einleitung

Die Rebsorte Zweigelt (*Vitis vinifera* L. cv. Zweigelt, eine Kreuzung von Blaufränkisch x St. Laurent) ist österreichweit die wichtigste Rebsorte für die Rotweinproduktion (STATISTIK AUSTRIA 1999). In den letzten zehn Jahren wurde die Produktivität dieser Rebsorte erheblich durch das Auftreten einer davor wenig bekannten Erkrankung, der so genannten „Traubenwelke“, beeinträchtigt. Diese Krankheit wurde erstmals 1997 unter dem Namen „Zweigeltkrankheit“, beschrieben (REISENZEIN und BERGER 1997), weil sie vor allem an Zweigelt Reben auftrat. Da die Symptome aber auch bei anderen roten und weißen Rebsorten beobachtet wurden, wird heute der Begriff „Traubenwelke“ verwendet (REDL 2005).

Die Symptome der Krankheit betreffen nur die Trauben, während die vegetativen Teile des Rebstockes gesund erscheinen. Die wichtigsten Krankheitssymptome sind eine unzureichende Reife der Beeren, sodass die Trauben nach Reifebeginn bis zur Lese nicht oder kaum mehr an Mostgewicht zunehmen und einen höheren Säuregehalt aufweisen. Zusätzlich verlieren die Beeren ihre Turgeszenz, wodurch die Trauben erschlaffen und welk werden. Auch die Ausfärbung ist oft unvollständig und die Beeren behalten einen rosa-violetten Ton. Die Ertragseinbußen durch den Befall mit Traubenwelke können bei starkem Befall bis zu 70 % der Trauben betragen (REDL et al. 2007).

Die Ursache für die Traubenwelke ist vermutlich kein parasitärer Erreger sondern, ähnlich wie bei der Stiellähme, abiotische Faktoren (REDL 2005), die genauen Ursachen sind jedoch noch nicht bekannt. Das Auftreten der Krankheit wird in engem Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung, hier insbesondere der Kaliumversorgung (FARDOSSI 2000), gebracht, aber auch die Witterung (RAIFFER und ROSCHATT 2001) sowie die Wasserversorgung und der Wasserhaushalt (REDL 2005) werden als wichtige Faktoren genannt. Aus diesem Grund wurde bei der Erforschung der Krankheit sowie bei der Erprobung von Methoden für die Praxis, die das Befallsausmaß vermindern sollen, besonderes Augenmerk auf die Wasserversorgung und Bewässerung sowie die Kaliumversorgung und Kaliumdüngung gelegt (REDL et al. 2007).

## 1.1 Wasserversorgung

Der Seewinkel im nördlichen Burgenland, der dem pannonischen Klimaraum zuzurechnen ist, zeichnet sich in der Regel durch trockene und heiße Witterung im Sommer aus, und weist zusätzlich oft Böden mit nur geringer Wasserspeicherfähigkeit auf. Diese Standortgegebenheiten und die Prognosen für eine mögliche Klimaerwärmung und die damit verbundene weitere Verringerung der sommerlichen Niederschläge machen die Notwendigkeit der Zusatzbewässerung für die Produktion qualitativ hochwertiger Weine deutlich (REDL 2004, 2007a). Dank der Förderungen im Rahmen der EU-Umstrukturierungsaktion wurden im Zeitraum von 2001-2005

viele Tropfbewässerungsanlagen auf Rebflächen im nördlichen Burgenland errichtet (REDL 2007a).

Anders als in Gebieten mit konstant trockenen Sommern, wie im mediterranen Bereich oder in Australien, wo die Bewässerung der Reben routinemäßig betrieben werden kann, stellt sich für die Winzer im pannonischen Raum das Problem des bedarfsgerechten Einsatzes der Bewässerung für die Produktion von hochwertigen Rotweinträumen in Abstimmung mit natürlichen Niederschlägen und dem Entwicklungsstadium der Rebe. Daher müssen geeignete Mittel gefunden werden, um die Zusatzbewässerung so zu steuern, dass die Rebe zu den richtigen Zeitpunkten ausreichend, aber nicht im Überfluss bewässert wird (RUPP 2002, SCHULTZ 2003, FEICHTER 2006). Dies ist nicht nur in Hinblick auf die Vitalität und Ertragsleistung der Reben wichtig, sondern soll auch ein Beitrag zu einem schonenden Umgang mit den verfügbaren Wasserressourcen sein.

Das Problem der bedarfsgerechten Steuerung der Bewässerung wird durch die Prognosen einer möglichen Klimaveränderung, die in Mitteleuropa nicht nur zu einem Temperaturanstieg, sondern auch zu einer erhöhten Temperaturvariabilität führen würde (SCHÄR et al. 2004), noch deutlicher. Durch eine höhere Variabilität der Temperaturen würden gleichzeitig auch die Niederschlagsereignisse viel stärker schwanken (SCHÄR et al. 2004, SCHULTZ 2007).

Für aride Gebiete werden verschiedene Strategien zur Steuerung der Zusatzbewässerung beschrieben (DRY und LOVEYS 1998, 1999, DRY et al. 2001, KRIEDEMANN und GOODWIN 2003, dos SANTOS et al. 2003, de SOUZA et al. 2003 de SOUZA et al. 2005), die alle zum Ziel haben, die verabreichten Wassergaben bestmöglich auszunutzen (KELLER 2005). Diesen Systemen liegt die Idee zu Grunde, dass sich ein moderater Wasserstress positiv auf die Qualität des Erntegutes auswirkt (McCARTHY 1997).

Bei regulated deficit irrigation (RDI) wird zu bestimmten Schlüsselstellen der Entwicklung der Rebe im Jahresverlauf bewusst Wasserstress erzeugt, vor allem nach Fruchtansatz, während zu anderen Entwicklungsstadien, insbesondere vor der Blüte, wieder ausreichend bewässert wird (DRY et al. 2001, KRIEDEMANN und GOODWIN 2003).

Deficit irrigation (DI) bedeutet, dass kontinuierliche Wassergaben verabreicht werden, die aber nur einen Teil jener Wassermenge ausmachen, die durch Transpiration verloren geht (de SOUZA et al. 2005).

Das System des partial rootzone drying (PRD) basiert darauf, dass die Bewässerung alternierend auf einer Seite der Rebzeile und damit des Wurzelbereiches erfolgt, somit ist immer ein Teil des Wurzelbereiches ausgetrocknet (DRY und LOVEYS 1998, 1999, dos SANTOS et al. 2003, SOUZA et al. 2003). So sollen aus den Wurzelbereichen, die im Trockenen liegen, Signale - das in den Wurzeln gebildete Phytohormon Abscisinsäure - in Richtung Triebe und Blätter geschickt werden, die zu teilweisem Schließen der Stomata und so zu einer verbesserten Ausnutzung des Wassers bei gleichzeitig ausreichender Wasserversorgung führen sollen (STOLL et al. 2000). Diese Systeme, vor allem das PRD, sind allerdings eher für stabile trockene Klimate, wie sie in

Australien oder in den Mittelmeerländern zu finden sind, geeignet (SCHULTZ und STEINBERG 2002a), und daher nur bedingt auf mitteleuropäische Verhältnisse übertragbar.

In den Untersuchungsgebieten im nördlichen Burgenland erfolgte die Steuerung der Bewässerung bislang hauptsächlich aufgrund von Erfahrungswerten der Winzer (REDL 2007b). Es wird weder die Wasserversorgung im Boden noch die der Reben regelmäßig überprüft. Um die Bewässerung an den Bedarf der Rebe bestmöglich anzupassen, ist es aber notwendig, Parameter zu erfassen, die den Stresszustand der Rebe beschreiben.

Es gibt verschiedene Parameter, die geeignet sind, den Einsatzzeitpunkt für die Bewässerung zu bestimmen (CIFRE et al. 2005). Eine Möglichkeit ist die Messung des Wasserpotenzials und des Gasaustausches. Das Gesamtwasserpotenzial, das den Energiegehalt des Wassers im Boden-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum beschreibt, nimmt eine zentrale Stellung in der Beurteilung des Wasserhaushalts von Pflanzen ein (RICHTER 1997). Die Bestimmung des Wasserpotenzials der Reben kann durch verschiedene Methoden erfolgen, für Freilandarbeiten stellt die Druckkammermethode nach SCHOLANDER et al. (1965) eine Standardmethode dar (DUHME und RICHTER 1977). Eine besondere Bedeutung hat die Messung des Wasserpotenzials von Pflanzen vor dem Sonnenaufgang (Predawn Water Potential), da sich das Wasserpotenzial der Pflanzen zu diesem Zeitpunkt im Gleichgewicht mit dem Wasserpotenzial des Bodens befindet, wodurch man durch eine einfache Messung Information über das Wasserpotenzial des Bodens erhält (RICHTER 1976). Obwohl das System bereits über 40 Jahre alt ist, hat es sich gezeigt, dass im Weinbau für Fragen der Wasserversorgung der Reben und möglicher Wasserknappheit im Boden die Bestimmung des Predawn Water Potentials mittels Druckkammermethode auch heute noch die am besten geeignete Methode ist (LOPES 1999, REDL 2007b, RUPP 2007, SCHULTZ 2003).

Dennoch wird der Einsatz des Predawn Water Potentials im Weinbau auch angezweifelt (PATAKAS et al. 2005, WILLIAMS und TROUT 2005) und es werden daher andere Methoden wie das Blattwasserpotenzial und das Stammwasserpotenzial zu Mittag (ARAUJO et al. 1999, SIPIORA und LISSARRAGUE 1999, PATAKAS et al. 2005, STEVENS et al. 1995, WILLIAMS und TROUT 2005) oder die stomatäre Leitfähigkeit bei maximaler Fotosyntheseleistung (CIFRE et al. 2005) als Indikator für die Wasserversorgung herangezogen.

Neben direkten Messungen an der Rebe besteht auch die Möglichkeit, die Wasserversorgung des Bodens durch verschiedene Verfahren abzuschätzen. Einerseits können, basierend auf aktuellen Klimadaten, Modelle berechnet werden, die den Wasserverbrauch der Rebe simulieren (LEBON et al. 2003). Eine weitere Methode ist die direkte Messung des Wassergehalts oder des Wasserpotenzials im Boden. Die Messung des Bodenwasserpotenzials liefert Information über die Verfügbarkeit des Wassers für die Pflanzen und sie wird vor allem für die Bewässerungssteuerung eingesetzt. Die am häufigsten angewandte Methode ist die Messung des Bodenwasserpotenzials mittels Tensiometern (CAMPBELL und MULLA 1990). Für die Messung des Bodenwassergehalts

stehen neben radioaktiven Methoden (z.B. Neutronensonden, oder Messung der Gammastrahlen) Methoden, bei denen die Dielektrizitätszahl des Bodens bestimmt wird, wie zum Beispiel TDR (Time Domain Reflectometry), FDR (Frequency Domain Reflectory) oder kapazitive Sensoren zur Verfügung.

## 1.2 Kaliumversorgung

Die Kaliumdüngung der Weinreben ist vor allem seit dem starken Auftreten der Traubenwelke wieder von großem Interesse geworden (FARDOSSI 2000, REDL et al. 2007). Kaliummangel bei der Rebe ist kein neues Phänomen, das nur Rebflächen in Österreich betrifft. Bereits 1950 beschrieb WILHELM das verbreitete Auftreten von Kaliummangelsymptomen in deutschen Weinbergen. Weitere Berichte über Kaliummangel in Rebanlagen gibt es beispielsweise aus Österreich und Ungarn (EIFERT und EIFERT 1976, BALO et a. 1985), Frankreich (HUGUET 1978, LEVY 1965), Italien (PONI et al. 2003), Deutschland (GAERTEL 1964, GOETZ 2007) oder Kalifornien (CHRISTENSEN et al. 1990).

Kalium hat eine essentielle Bedeutung für den Wasserhaushalt und Stofftransport in den Pflanzen, da es auf vielfältige Weise in die Stoffwechselprozesse der Pflanze eingreift. Kalium ist ein wichtiges Osmotikum, es fördert die Wasseraufnahme der Wurzelzellen, ist verantwortlich für das Schließen der Stomata, fördert das meristematische Wachstum, den Langstreckentransport in der Pflanze, insbesondere im Phloem und ist wichtig für die Enzymaktivität, Proteinsynthese sowie für die Fotosynthese (MENGEL 1991, MARSCHNER 2002). Außerdem spielt Kalium eine entscheidende Rolle bei der Verminderung der Schadwirkung verschiedener abiotischer Stressfaktoren wie Trockenheit, Temperatur oder hohe Lichtintensitäten (CAKMAK 2005). Eine ausreichende Ernährung der Reben mit Kalium ist daher sowohl für das Rebwachstum als auch für die Produktion von qualitativ hochwertigen Trauben entscheidend. Weinreben haben einen hohen Kaliumbedarf, vor allem während der Reife. In den Trauben werden große Mengen an Kalium angereichert, und Kalium ist das häufigste Kation im Beerensaft (WILLIAMS und BISCAY 1991). Kaliummangel führt im Allgemeinen zu verzögertem Wachstum und zur Mobilisierung von Kalium aus den älteren in die jüngeren, wachsenden Pflanzenteile, wodurch die Symptome zuerst an den älteren Blättern ausgebildet werden (MARSCHNER 2002). Bei fortschreitendem Mangel werden die Blätter vom Rand her chlorotisch und später nekrotisch (MARSCHNER 2002). Bei Weinreben kann Kaliummangel weiters zu geringeren Erträgen, geringeren Zuckergehalten im Most und verminderter Winterhärte der Rebstöcke führen (CAHOON 1985).

Kaliummangel bei Weinreben kann entweder direkt durch zu geringen Kaliumgehalt im Boden hervorgerufen werden, oder indirekt durch verschiedene Umweltfaktoren oder Kulturmaßnahmen, die die Kaliumaufnahme behindern. Entscheidende Faktoren sind unter anderem Niederschläge und Bewässerung (sowohl Trockenheit als auch Staunässe können Kaliummangel verursachen),

Bodenverdichtung, parasitäre Erkrankungen, Unterlagen- und Sortenwahl, Rebschnitt oder Ertragsniveau (CAHOON 1985, HEPNER und BRAVDO 1985, BRANCADORO et al. 1994, PONI et al. 2003, WOLPERT et al. 2005).

Eine langfristig ausreichende Kaliumversorgung einer Rebfläche sollte im Zuge der sogenannten Vorratsdüngung bereits vor der Auspflanzung sichergestellt werden. Die Korrektur einer starken Kaliumunterversorgung in einer bestehenden Rebanlage ist demgegenüber weitaus schwieriger (RUCKENBAUER 1984, REDL 2003). Bei einer oberflächlichen Bodendüngung mit nachfolgender Einarbeitung besteht die Gefahr, dass die Nährstoffe nicht so schnell in den Unterboden gelangen, wo meist eine stärkere Unterversorgung vorliegt. Varianten, bei denen der Dünger direkt mittels einer Tiefenbodenbearbeitung (RUCKENBAUER 1976) oder einer Lanzendüngung in den Unterboden eingebracht wird, sind grundsätzlich von Vorteil. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Düngertlösung mit dem Bewässerungswasser zu verabreichen (BRAVDO und HEPNER 1987). Als eine Methode zur schnellen Überbrückung von Kaliummangel wird die Blattdüngung empfohlen (FARDOSSI 2000, ANONYM 2003), die vor allem durch das Auftreten der Traubenwelke in der Praxis verstärkt angewandt wird, jedoch gibt es noch keine zufrieden stellenden Ergebnisse über die Wirksamkeit dieser Methode (REDL et al. 2007).

## 2 Problemstellung und Zielsetzung

Die Fotosynthese ist die Grundlage der Stoffproduktion, und ist somit primär sowohl für das vegetative Wachstum als auch für das Traubenwachstum und die Traubenqualität verantwortlich. Die Fotosyntheseleistung wird durch eine Vielzahl von Faktoren wie Licht, Temperatur, Wasserversorgung, Nährstoffversorgung, Blattalter oder Krankheitsbefall beeinflusst (LARCHER 1994).

Der Einfluss von Trockenstress auf die Fotosyntheseleistung von Pflanzen im Allgemeinen und der Rebe im Speziellen war bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Als allgemein gesichert gilt, dass die Fotosyntheseleistung durch Wasserstress vermindert wird (CIFRE et al. 2005). Allerdings ist noch nicht restlos geklärt, zu welchem Anteil der Stomatenschluss oder eine Störung im Stoffwechsel, wie verringerte ATP-Synthese, oder Rubisco-Synthese oder Rubisco-Aktivität für die Reduktion der Fotosynthese verantwortlich sind (FLEXAS et al. 2004).

Auch die Kaliumversorgung hat durch ihre vielfältige Wirkungsweise unmittelbaren Einfluss auf Fotosynthese und Wasserhaushalt (MARSCHNER 2002): Weiters wirkt sie direkt auf den Assimilattransport, wobei man davon ausgeht, dass der Assimilattransport früher als die Fotosynthese gehemmt wird (HUBER 1985). Außerdem hat sich gezeigt, dass es eine enge Vernetzung zwischen Wasserversorgung, Kaliumernährung sowie Licht- und Temperaturstress gibt. Einerseits werden die negativen Auswirkungen von Temperatur- oder Lichtstress auf die Fotosynthese durch Trockenheit verstärkt (DÜRING 1988 und IACONA und SOMMER 1991), andererseits kann eine ausreichende Kaliumversorgung die Auswirkung von Trockenheit auf die Leistungsfähigkeit der Reben abschwächen (CAKMAK 2005).

Vor allem unter dem Aspekt von Wasserknappheit ist für ein gutes Pflanzenwachstum nicht nur eine maximale Fotosyntheseleistung, sondern ein optimales Verhältnis zwischen Fotosyntheseleistung und Wasserverbrauch entscheidend (CIFRE et al. 2005). Bei einsetzender Trockenheit kommt es zum Schließen der Stomata, wodurch der Wasserverlust durch die stomatäre Transpiration vermindert wird, zugleich wird aber auch die CO<sub>2</sub>-Aufnahme und dadurch die Fotosyntheserate eingeschränkt. Das Verhältnis zwischen Assimilationsleistung und Wasserverbrauch wird als Water Use Efficiency (WUE) bezeichnet (LARCHER 1994), das auch eine gute Übereinstimmung mit dem Verhältnis zwischen Wasserverbrauch und Trockensubstanzproduktion der Rebe aufweist (EIBACH und ALLEWELDT 1984).

Ziel der Arbeit war es, die Gaswechselleistung von Zweigelt-Reben in Abhängigkeit der Wasser- und Kaliumversorgung im Jahresverlauf unter pannonischen Bedingung des Nordburgenlandes in den Jahren 2004 und 2005 zu untersuchen. Es bestand die Möglichkeit, die Messungen begleitend

zu dem im Burgenland 2003 angelegten Forschungsprojekt „Der Traubenwelke auf der Spur“ (REDL et al. 2007) durchzuführen. Während bei dem Traubenwelke-Forschungsprojekt vorrangig Ursachenforschung über die Welkeerkrankung und die Möglichkeit, das Auftreten der Traubenwelke mittels Bewässerung zu beeinflussen, betrieben wurde, lag der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit bei Beurteilung des Einflusses von Wasserversorgung, Blattalter und Nährstoffversorgung auf die Gaswechselleistung der Zweigeltreben. Als Grundlage konnten die vorhandenen Weingartenflächen und angelegten Versuche, sowie Daten über die Nährstoffversorgung der Weingärten und die Witterung in den Versuchsjahren genutzt werden. Dies ermöglichte es, wichtige Teilaspekte aus der Sicht der Fotosyntheseleistung genau zu beleuchten. Im Einzelnen wurden dazu folgende Punkte überprüft:

- Wasserversorgung:

Da die Wasserversorgung einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Fotosyntheseleistung der Reben ist, sollte der Gaswechsel der Zweigeltreben bei unterschiedlichem Wasserpotenzial eingehend untersucht werden. Die Charakterisierung der Wasserversorgung mittels Predawn Water Potential im Jahresverlauf stellte die Grundlage für die weiteren Untersuchungen dar. Die Ergebnisse wurden mit den Messwerten von Bodenfeuchtesensoren (kapazitive Sensoren, C-probes, Fa. Adcon) verglichen. Aufbauend auf diesen Werten erfolgte die Messung des Gaswechsels der Reben bei unterschiedlichem Wasserangebot. Dazu wurde auch der Einfluss verschiedener Varianten von Zusatzbewässerung auf die Fotosyntheseleistung miteinbezogen. Die Beschreibung der Wasserversorgung und ihres Einflusses auf den Gaswechsel stellte die Basis für alle weiteren Messungen dar.

- Blattalter und Insertion des Blattes am Trieb

Die Frage nach der photosynthetischen Leistungsfähigkeit von Blättern verschiedener Insertionshöhen im Jahresverlauf ist vor allem in Hinblick auf Laubarbeitsmaßnahmen von Interesse. Der Gaswechsel der Blätter entlang des Rebtriebes wurde während einer Vegetationsperiode an drei verschiedenen Standorten gemessen. Weiterführende Messungen an Blättern unterschiedlicher Laubwandbereiche sollten Aufschluss über einen möglichen Einfluss der Bewässerung auf den Verlauf der Gaswechselleistung eines Blattes während der Vegetationsperiode geben.

- Kaliumversorgung

Da die Kaliumversorgung in engem Zusammenhang mit dem Auftreten der Traubenwelke gebracht wird und in vielen Zweigelt-Anlagen das Problem einer Unterversorgung mit Kalium bestand, stellte die Messung des Gaswechsels in Abhängigkeit von der Kaliumversorgung einen weiteren wichtigen Punkt der Arbeit dar. Einerseits wurde das Auftreten von Kaliummangelsymptomen

bonitiert und die Gaswechselleistung befallener Rebblätter gemessen. Andererseits erfolgte die Messung des Gaswechsels auch an Reben, die mit Kaliumdüngern behandelt worden waren. Hier fand Arbeit an Düngerversuchen statt, bei denen Kalium als Blattdünger oder mittels Lanzendüngung in den Boden ausgebracht worden war.

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Beschreibung der Standorte**

Die Versuche wurden, wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, begleitend zu den Arbeiten zur Erforschung der Traubenwelke in Ertragsanlagen in den burgenländischen Weinbaugebieten Neusiedlersee (Standorte Mönchhof, Andau und Illmitz) und Neusiedlersee–Hügelland (Standorte Purbach und St. Georgen) durchgeführt. Alle Rebanlagen waren mit der Rebsorte Zweigelt (*Vitis vinifera* L. cv. Zweigelt) bepflanzt. Mit Ausnahme des Standortes Mönchhof (im Folgenden Kurzbezeichnung A2) handelte es sich um Weitraumanlagen mit einem Reihenabstand von 2,50 bis 3,00 m und einem Stockabstand in der Reihe von 0,80 bis 1,00 m. Die Erziehungsform war stets eine Hochkultur mit Kopferziehung, mit ein oder zwei angeschnittenen Fruchtbögen. Die Anlage A2 war demgegenüber eine Dichtpflanzung (1,80 m Reihenabstand x 0,80 m Stockabstand) mit mittelhoher Kopferziehung und einem Fruchtbogen. Die Beschreibung der einzelnen Anlagen ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Bewirtschaftung der Versuchsflächen erfolgte betriebsüblich durch die Winzer. In allen Anlagen wurden bei der Laubarbeit sämtliche Rebtriebe im Drahtrahmen formiert, sodass sich eine mehr oder weniger schlanke Laubwand ergab. Die Flächen waren mit Ausnahme der Standorte A2, E4 und E7 mit einer Tropfbewässerung ausgestattet. In allen Weingärten wurde während der gesamten Vegetationsperiode die Fahrgasse durch wiederholte Bearbeitung mechanisch offen gehalten.

### **3.2 Boden und Klima**

#### **3.2.1 Bodenkundliche Grundlagen**

Wie bei NELHIEBEL (1982 und 1986) zu entnehmen ist, liegen die Rebflächen der Gemeinden Andau und Illmitz im südlichen Teil des Seewinkels, am Nordwestrand der kleinen Ungarischen Tiefebene, wo der sogenannte Seewinkelschotter auftritt. Hierbei handelt es sich um vorwiegend silikatische Schotter, die aber auch karbonatische Komponenten besitzen können. Darüber befindet sich kalkhaltiges Schwemmmaterial, welches das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung darstellt. Die Böden der Versuchsstandorte im Seewinkel sind relativ einheitlich als Tschernoseme oder Paratschnoseme charakterisiert, die sich vor allem in der Beschaffenheit des Ausgangsmaterials unterscheiden (Schotter bis feines Lockermaterial). In Andau sind die Böden der Versuchsstandorte im Nordosten (B2, B3, B4, B5) Tschernoseme oder Paratschnoseme aus grobem bis feinem Lockermaterial, wobei bei vielen Standorten unterhalb von 50 cm Schotter vorherrschend ist. Die Wasserverhältnisse sind daher zum großen Teil trocken bis sehr trocken.

In Illmitz liegt der Standort C4 ebenfalls auf der Schotterterrasse des Seewinkels. Auch hier handelt sich es um einen Tschernosem.

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsanlagen

Kurz-bezeichnung	Lage	Unterlage	Pflanzjahr	Stammhöhe	Anzahl der Fruchbögen
A2	Mönchhof	161-49	1999	mittelhoch	1
B2	Andau Baumhöhäcker	Kober 5BB	1991	hoch	2
B3	Andau Prädium	Kober 5BB	1997	hoch	1-2
B4	Andau Prädium	Kober 5BB	1997	hoch	1
B5	Andau Zwerchäcker	Kober 5BB	1992	hoch	2
C4	Illmitz	Kober 5BB	1998	hoch	1
E4	Purbach	Kober 5BB	1997	hoch	2
E7	St. Georgen	Kober 5BB	1995	hoch	1

Kurz-bezeichnung	Pflanzverband (Reihenabstand x Stockabstand)	Ausrichtung der Rebzeile	Tropfbewässerung
A2	1,80 m x 0,80 m	NNO-SSW	nein
B2	2,80 m x 1,00 m	NO-SW	ja
B3	2,80 m x 1,00 m	NNW-SSO	ja
B4	2,70 m x 1,00 m	NNW-SSO	ja
B5	2,90 m x 1,10 m	NO-SW	ja
C4	2,60 m x 0,80 m	W-O	ja
E4	2,50 m x 1,00 m,	NNW-SSO	nein
E7	3,00 m x 1, 00m	NNW-SSO	nein

Kurz-bezeichnung	Bodentyp und Ausgangsmaterial <sup>1</sup>	Wasserverhältnisse <sup>1</sup>
A2	Tschernosem aus vorwiegend feinem Tertiärmaterial oder Lockermaterial über Schotter	mäßig trocken bis sehr trocken
B2	Paratschernosem aus feinem Lockermaterial über Schotter	sehr trocken
B3	Paratschernosem aus feinem Lockermaterial über Schotter	sehr trocken
B4	Tschernosem aus feinem und grobem Lockermaterial	trocken
B5	Paratschernosem aus feinem Lockermaterial über Schotter	sehr trocken
C4	Tschernosem aus vorwiegend feinem sandigen Lockermaterial	trocken
E4	Überlagerte Lockersediment-Braunerde aus feinem Lockermaterial	gut versorgt
E7	Lockersediment-Braunerde aus Feinsedimenten	gut versorgt

Im Nordosten des Gebietes befindet sich die Parndorfer Platte, eine von der Donau aufgeschüttete Schotterterrasse, mit einer maximalen Mächtigkeit von 10 m. Entlang des Abfalls der Parndorfer Platte in die Ebene befindet sich die Versuchsfläche in Mönchhof (A2), einem Tschernosem, dessen Ausgangsmaterial sich kleinräumig abwechselt; es herrschen mäßig bis sehr trockene Wasserverhältnisse.

<sup>1</sup> Digitale Bodenkarte der österreichischen Bodenkartierung (<http://gis.lebensministerium.at/ebod>)

Die beiden Versuchsstandorte (E4 und E7) im Gebiet Neusiedlersee-Hügelland befinden sich am Abhang des Leithagebirges. Sie weisen tiefgründigere Böden mit einer besseren Wasserversorgung als die Standorte im Seewinkel auf. Auf beiden Versuchsflächen findet sich eine Lockersediment-Braunerde mit guter Wasserversorgung (Tabelle 1).

### **3.2.2 Klimatologische Grundlage**

Das gesamte Untersuchungsgebiet befindet sich im pannonischen Klimaraum, der sich laut NELHIEBEL (1982 und 1986) durch auffallende Niederschlagsarmut, häufige Trockenperioden bzw. eine negative Wasserbilanz und nahezu ständige Windbewegungen auszeichnet. Hinsichtlich der klimatischen Wasserbilanz stellt der Ostteil des Seewinkels die Region mit größter Aridität dar. Das nördliche Burgenland liegt in einem Übergangsgebiet zwischen Zonen mitteleuropäischen und osteuropäischen Klimatyps, doch ist ein deutliches Vorherrschen des Kontinentalklimas der Ungarischen Tiefebene festzustellen. Daneben sind aber auch die Einflüsse des Neusiedler Sees, der als Wärmespeicher wirkt, und des Leithagebirges, das den Raum gegen regenbringende Westwinde abschirmt, von Bedeutung. Im Bereich Neusiedler See-Hügelland, der sich vom westlichen Ufer des Neusiedler Sees bis zum Leithagebirge erstreckt, sind die klimatischen Bedingungen ähnlich wie im übrigen nördlichen Burgenland, durch die unterschiedliche Topographie ergibt sich jedoch eine größere Vielfalt.

Die Jahresdurchschnittstemperaturen liegen im längjährigen Mittel (1971-2000) zwischen 10,0° C in Eisenstadt und 10,1° C in Neusiedl am See. Die jährliche Niederschlagssumme liegt in Neusiedl am See bei 574 mm, in Eisenstadt bei 618 mm. Etwa die Hälfte der Niederschläge fällt in den Monaten April bis August (ZAMG 2002).

### **3.3 Witterung und Phänologie**

Für die vorliegende Arbeit konnten die Witterungsdaten, die im Rahmen des Projektes zur Erforschung der Traubenwelke ermittelt wurden, genutzt werden. Als Grundlage dienten die Aufzeichnungen der Funkwetterstationen (Fa. Adcon) der Burgenländischen Landwirtschaftskammer. Zusätzlich wurden die Daten der ZAMG-Wetterstationen Neusiedl am See, Andau, Illmitz und Eisenstadt herangezogen. Eine weitere Wetterstation (Starlog, Fa. Kroneis) des Instituts für Pflanzenschutz (BOKU, Wien) am Standort Mönchhof (A2) ergänzte die Datenreihe. Bei der Auswertung der Daten wurden Tagesmittelwerte der Temperatur sowie Tages- und Monatssummen des Niederschlags berechnet. Für die Ermittlung der phänologischen Entwicklung fand eine regelmäßige visuelle Kontrolle der Anlagen statt. Es wurde das Datum der Blüte (Vollblüte = mind. 75 % der Blütenköpchen abgeworfen) und des Reifebeginns (30° Oe, beginnendes Umfärben) bestimmt.

## 3.4 Messverfahren

### 3.4.1 Blattwasserpotenzial

Das Blattwasserpotenzial der Rebe wurde mittels Druckkammermethode nach SCHOLANDER et al. (1965) mit einer Plant Water Status Console (Fa. Soilmoisture Equipment Corp, Santa Barbara, USA) des Instituts für Pflanzenschutz, BOKU Wien, bestimmt. Bei der Messung des Wasserpotenzials wurde das Rebblatt mittels Rasierklinge am Stielanfang abgetrennt und unmittelbar danach in die Druckkammer eingespannt. Soweit nicht anders beschrieben, erfolgte die Messung an gut besonnten Haupttriebblättern in Stammnähe, die sich gegenüber einer Traube befanden. Die Messungen des Predawn Water Potentials (Wasserpotenzial vor Sonnenaufgang, Vordämmerungspotenzial) fanden im Zeitraum von einer Stunde bis kurz vor Sonnenaufgang statt.

### 3.4.2 Gaswechsel

Messgerät: Die Messungen des Gasaustauschs der Rebe wurden mit einem LCpro Photosynthesis System (ADC, Hoddesdon, York) des Instituts für Pflanzenschutz, BOKU Wien, durchgeführt. Das Gerät ist mit einer breiten Blattkammer (broad leaf chamber, area = 6,25 cm<sup>2</sup>) ausgestattet und verfügt über eine Mikroklimakontrolle, bei der Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Licht in der Blattkammer gesteuert werden können. Bei gleichmäßigen Umgebungsbedingungen erfolgte die Messung ohne Mikroklimakontrolle, bei leicht wechselnder Bewölkung wurde die Belichtung durch Einsatz des Lichtaufsatzes standardisiert. Da alle Messungen im Freiland stattfanden, erfolgte die Luftzufuhr über die Außenluft im Rebbestand, der Luftstrom in der Kammer betrug einheitlich 250  $\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ . Die Konstanten der Blattkammer waren wie folgt eingestellt: Grenzschichtwiderstand für Wasserdampf ( $r_b$ ) = 0,17  $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{mol}$ ; H-Faktor = 0,168; Transmissionsfaktor für das einfallende Licht bei Verwendung des Plexiglasschildes ( $T_{rw}$ ) = 0,88.

Parameter: Das Gerät lieferte durch interne Berechnung Werte für die Parameter Nettofotosyntheserate ( $A$ ,  $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), stomatäre Leitfähigkeit ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) und Transpiration ( $E$ ,  $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), weiters wurden in der Blattkammer die Blatttemperatur und die Blattkammertemperatur und außerhalb der Blattkammer die fotosynthetisch aktive Strahlung (Photosynthetic active radiation PAR,  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) gemessen.

Zusätzlich zu den direkt vom Gerät berechneten Parameteren erfolgte bei der Auswertung der Daten die Berechnung des Parameters WUE (Water Use Efficiency) aus Fotosyntheseleistung und Transpiration, der ein Maß für die Wasserausnutzungseffizienz der Rebblätter ist. Die Formel für die Berechnung lautet nach LARCHER (1994):  $WUE = A (\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}) / E (\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ .

Messvorgang: Bei der Messung des aktuellen Gaswechsels an Einzelblättern wurde ein Blatt in die Blattkammer eingespannt und die Zeit bis sich sowohl die H<sub>2</sub>O- als auch CO<sub>2</sub>- Werte stabilisiert hatten - in der Regel nach einer Minute - abgewartet. Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte durch manuelle Auslösung, danach wurde sofort das nächste Blatt gemessen.

Bei der Bestimmung von Fotosynthese-Lichtkurven (A-Q-Kurven) fanden wiederholte Messungen des Gaswechsels an einem Blatt bei unterschiedlichen Lichtintensitäten mittels Lichtaufsatz statt. Dazu wurde die Blattkammer auf einem Stativ fixiert, das Blatt eingespannt und die unterschiedlichen Lichtintensitäten durch eine automatisch ablaufende Sequenz erzeugt. Am Ende jeden Schrittes erfolgte eine automatische Aufzeichnung der Messwerte des vorangegangenen Schrittes. Die Sequenz begann mit der höchsten Lichtintensität ( $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), wie es auch von SINGSAAS (2001) für die Messungen von A-Q-Kurven im Freiland empfohlen wird. Danach wurde die Lichtintensität stufenweise bis  $0 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  verringert. Die Belichtungsdauer der einzelnen Schritte der Sequenz betrug bei der Adaptionsphase mit der höchsten Lichtintensität ( $2000 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) und bei der letzten Messung bei Dunkelheit, die zur Bestimmung der Dunkelatmung diente, jeweils zwei Minuten. Bei allen anderen Schritten wurde die Aufzeichnung bereits nach einer Minute ausgelöst. Die verwendete Sequenz (Tabelle 2) war das Ergebnis von Vorversuchen, in denen für die Messung an Reben im Freiland verschiedenen Lichtstufen getestet wurden. Die übrigen Klimaparameter der Messkammer (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Messluft) wurden nicht reguliert.

Tabelle 2: Sequenz zur Messung von Fotosynthese-Lichtkurven (A-Q-Kurven)

Schritt	Belichtungsdauer (min)	Belichtungsstärke ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )
1	2	2000
2	1	1800
3	1	1500
4	1	1200
5	1	1000
6	1	800
7	1	600
8	1	400
9	1	200
10	1	120
11	1	70
12	1	40
13	1	20
14	2	0

Bei der Auswertung der Lichtkurven wurde für jede Messung eine Kurvenanpassung mittels Sigma Plot durchgeführt. Aus der resultierenden Kurve wurden die Werte für Dunkelatmung, Lichtsättigungspunkt, Fotosynthese bei Lichtsättigung ( $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) und das Quantum Requirement (QR) im Bereich von 0 bis  $100 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  berechnet (Abbildung 1). Die Dunkelatmung ist die (negative) Fotosyntheseleistung bei Dunkelheit ( $Q = 0 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) und ist durch den Abstand des Kurvenursprungs auf der Y-Achse zum Nullpunkt dargestellt. Der Lichtkompensationspunkt ist jene Beleuchtungsstärke, bei der die Nettofotosynthese Null beträgt, und ist durch den Schnittpunkt

der Kurve mit der X-Achse dargestellt. Für den Wert der gesättigten Fotosyntheseleistung ( $A_{\text{sat}}$ ) wurde die Fotosyntheseleistung bei einer Lichtstärke von  $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ermittelt.

Im Bereich der niedrigen Lichtintensität ( $0-100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) steigt die Fotosyntheseleistung beinahe linear an, sodass das Quantum Requirement (QR) berechnet werden kann. Das QR gibt an, wie viele Photonen benötigt werden, um 1 mol  $\text{CO}_2$  zu binden. Die Berechnung des QR erfolgt aus dem Kehrwert der Steigung der Geraden, die an die Kurve im Bereich zwischen  $0-100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  angepasst wurde. ( $\text{QR} = q/a$ ).

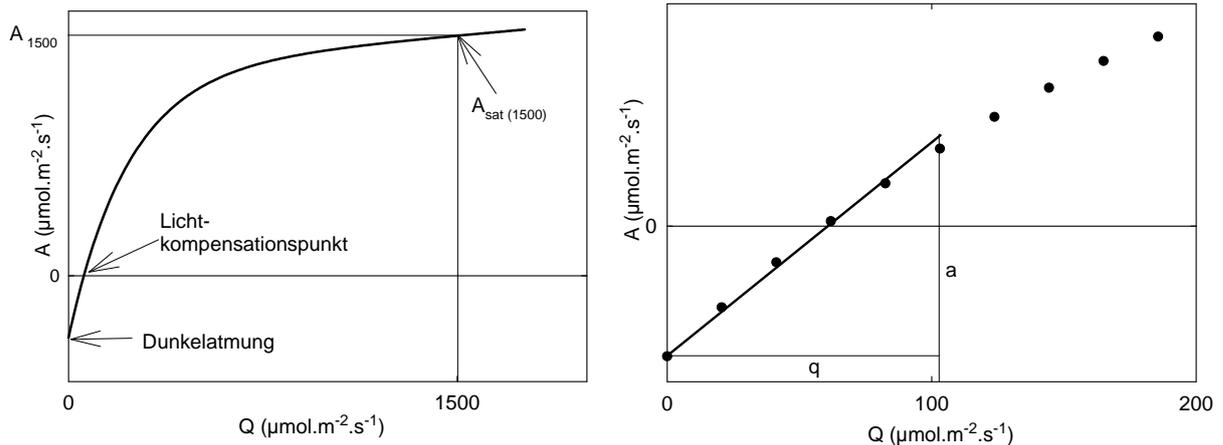


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Auswertung der Lichtkurven. Links: Dunkelatmung, Lichtkompensationspunkt, und Fotosyntheseleistung bei Lichtsättigung (1500). Rechts: Berechnung des Quantum Requirement ( $\text{QR} = q/a$ ).

### 3.4.3 Blattflächen

Die Bestimmung der Blattfläche erfolgte über die Messung der Einzelblattflächen. Diese wurden bei Untersuchungen, bei denen eine zerstörungsfreie Messung erforderlich war (für wiederholte Messungen desselben Blattes) mit dem tragbaren Blattflächenmessgerät LI-3000A (Fa. LI-COR, Nebraska, USA) direkt an der Weinrebe durchgeführt. Wenn keine zerstörungsfreie Messung erforderlich war, wurden die Blätter gesammelt und mit dem stationären Blattflächenmessgerät LI-3100C (Fa. LI-COR, Nebraska, USA) des Forschungsglashauses des DAPP, BOKU Wien, gemessen.

### 3.4.4 Nährstoffanalyse Rebblatt

Die Ergebnisse der Blatt Nährstoffuntersuchungen aus dem Projekt zur Erforschung der Traubenwelke konnten auch für die vorliegenden Untersuchungen als Basis genutzt werden. Für die Blattanalyse wurden aus jeder Variante 20 bis 30 zufällig ausgewählte Blätter aus der Traubenzone entnommen, und zwar Blätter von stammnahen Rebtrieben, die gegenüber der unteren Traube eines Rebtriebes inseriert waren. Von den Blättern wurde der Stängel entfernt, sodass nur die Blattspreite analysiert

wurde. Die Blattspreiten wurden sofort in Plastiksäcke verpackt und zur Analyse zu Fa. Phosyn-Laboratories (Pocklington, York) geschickt.

### 3.5 Versuchsvarianten

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Versuche zur Bewässerung, Kaliumdüngung und Laubwandhöhe ausgewertet. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Versuchsanlage auf den einzelnen Standorten. Die Versuchsdurchführung ist nachfolgend beschrieben.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Versuche auf den Versuchsflächen

Kurzbezeichnung	Versuche			
	Laubwandhöhe	Bewässerung	Kaliumblattdüngung	Kaliumbodendüngung
A2	+			+
B2			+	
B3		+	+	+
B4		+		
B5				+
C4		+		+
E4			+	
E7			+	

#### 3.5.1 Zusatzbewässerung

Die praxisübliche Bewässerung auf den Versuchsflächen erfolgte mittels Netafim-Tropfbewässerung (Wassermenge  $1,6 \text{ l Tropfer}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ). Im Frühjahr 2003 waren auf den beiden Standorten in Andau (B3 und B4) Versuche mit folgenden drei verschiedenen Bewässerungsvarianten angelegt worden:

- Nicht bewässert
- Normal bewässert (betriebsüblich)
- Doppelt bewässert

Die Versuchsvarianten nicht bewässert, normal bewässert und doppelt bewässert befanden sich jeweils in drei direkt nebeneinander liegenden Rebzeilen, die zwei Wiederholungen waren hintereinander angeordnet. Jede Variante und Wiederholung bestand aus 3 Quartieren (= 20-24 Stöcke). Für die nicht bewässerte Variante wurde der betriebsübliche Bewässerungsschlauch durchtrennt und durch einen Blindschlauch ersetzt, bei der doppelten Bewässerung wurde ein zweiter Bewässerungsschlauch parallel zum bereits vorhandenen geführt. In der jeweils ersten Wiederholung befanden sich die in der Rebzeile zwischen zwei Reben eingegrabenen Bodenwassergehaltssensoren.

Neben den beiden Standorten in Andau gab es auch am Standort Illmitz (C4) einen Bewässerungsversuch, bei dem allerdings nur die beiden Versuchsvarianten nicht bewässert und normal bewässert geprüft wurden.

Die Bewässerungstermine erfolgten betriebsüblich. Die Bewässerungsgänge (Bewässerungstermin und Bewässerungsmenge je Tropfer) der betriebsüblichen Bewässerung in den Jahren 2003 bis 2005 an den drei Standorten sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Bewässerungstermine und Bewässerungsmengen (Liter pro Tropfer) bei betriebsüblicher Bewässerung an den Standorten B3, B4 und C4

Standort	B3		B4		C4	
Jahr	Termin	Liter	Termin	Liter	Termin	Liter
2003	14.6.	28	16.6.	30		
	29.6.	27	25.6.	48		
	7.7.	27	5.7.	37		
	14.7.	24	13.7	32		
	3.8.	51	4.8.	46		
	13.8.	54	12.8.	28		
	27.8.	27	17.8.	34		
			19.8.	33		
	Summe	238	Summe	288		
2004	12.7.	28	1.8.	35	6.8.	25
	18.7.	37	7.8.	39	8.8.	55
	27.7.	58	13.8.	26	10.9.	46
	10.8.	57	23.8.	59		
	22.8.	53	5.9.	38		
	5.9.	45	19.9.	43		
	Summe	278	Summe	240	Summe	126
2005	19.6.	48	18.6.	57	6.6.	66
	2.8.	37			21.6.	54
	Summe	85	Summe	57	Summe	120

### 3.5.2 Laubwandhöhe

Auf dem Standort A2 wurde die betriebsübliche Laubwandhöhe von 1,2 m mit einer stark eingekürzten Laubwand (ca. 0,9 m hoch) und mit einer verlängerten Laubwand (ca. 1,5 m hoch durch Montage zusätzlicher Drähte 30 cm oberhalb des obersten Drahtpaares) verglichen. Das Einkürzen der kurzen Laubwand erfolgte zu denselben Terminen wie die betriebsübliche Variante. Bei der langen Laubwand fand das Einkürzen mit Ausnahme des ersten Einkürzungstermins, an dem die Triebe noch

nicht über den Draht gewachsen waren, ebenfalls zu denselben Terminen wie bei der betriebsüblichen Variante statt.

### 3.5.3 Bodendüngung

Tabelle 5: Berechnung der ausgebrachten Mengen an Kaliumdünger bei den Lanzendüngungs-Versuchen

Standort	Variante	K <sub>2</sub> O Gehalt in der Lösung (g.l <sup>-1</sup> )	Dünge-Empfehlung K <sub>2</sub> O kg.ha <sup>-1</sup>	Düngerlösung l.ha <sup>-1</sup>	Pflanzdichte (Reben.ha <sup>-1</sup> )	Düngerlösung l.Stock <sup>-1</sup>
A2	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	133	6.650	6.944	0,96
B3	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	138	6.900	3.571	1,93
	Patentkali	12	138	11.500	3.571	3,22
B5 <sup>2</sup>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20				2,00
	Patentkali	12				3,20
C4	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	155	7.750	4.808	1,60
	Patentkali	12	155	12.917	4.808	2,65

Tabelle 6: Übersicht über die Varianten der Lanzendüngungs-Versuche

Standort	Variante	Termin	Bemerkung
A2	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	05.05.04	1. Wiederholung
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	18.05.04	2. Wiederholung
B3	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	05.05.04	
	Patentkali	05.05.04	
B5	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	18.05.04	
	Patentkali	18.05.04	
	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + Nitramoncal	05.05.04	+1% Nitramoncal
C4	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	05.05.04	
	Patentkali	18.05.04	

An den Standorten A2, B3, B5 und C5 wurde im Kleinversuch eine wässrige Kaliumdüngerlösung als Lanzendüngung direkt in die Wurzelzone der Reben eingebracht. Die Ausbringung erfolgte nach Lösung der Kaliumdünger (Kaliumsulfat bzw. Patentkali) in Wasser zu einer 4%-igen Lösung, indem mittels Bodenbohrer im Unterstockbereich vier Löcher je Rebe um den Rebstamm bis in den Unterboden geschlagen und danach die Lösung durch einen Trichter in die Löcher gegossen wurde. Die Menge der ausgebrachten Lösung je Rebe entsprach einem Äquivalent der erforderlichen Düngermenge je ha und richtete sich nach den Düngerempfehlungen der Bodenuntersuchungen (AGES) aus dem Frühjahr 2003 (Tabelle 5). Je Variante und Standort wurden 5 Reben behandelt. Die Ausbringung erfolgte im Frühjahr 2004 nach Austrieb an 2 Terminen (05.05.04 und 18.05.04). An

<sup>2</sup> Da auf diesem Standort keine Bodenuntersuchung vorhanden war, erfolgte die Ausbringung einer durchschnittlichen Düngermenge.

jedem Standort wurden die Variante  $K_2SO_4$  und eine unbehandelte Kontrolle angelegt. Zusätzlich kamen noch die Variante Patentkali an den Standorten B3, B5 und C4, sowie die Variante  $K_2SO_4$  + Nitramoncal am Standort B5 zum Einsatz (Tabelle 6).

### 3.5.4 Blattdüngung

In den Jahren 2003 und 2004 wurden an 4 Versuchsstandorten (B2, B3 E4 und E7) Kaliumblattdüngerversuche durchgeführt, und zwar mit 3 unterschiedlichen „Kalium-Düngern“ und als Antagonist ein Magnesium-Blattdünger. Die unbehandelte Kontrolle (UK) wurde nicht behandelt. In Tabelle 7 sind die verwendeten Blattdünger und ihre Nährstoffgehalte dargestellt. Um den Versuch möglichst praxisnahe zu gestalten, entsprachen die Düngeraufwandmengen je ha den Empfehlungen der Hersteller. Alle Blattdünger wurden mit einem aliquoten Anteil einer Hektaraufwandmenge von  $500 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$  ausgebracht.

Der Blattdünger „Nutrileaf 10-5-40 +4“ ist ein Mehrnährstoffdünger, dessen Hauptkomponente zwar Kalium ist, der jedoch auch Stickstoff, Phosphor und Mineralstoffe enthält. Der Kaliumdünger auf  $KNO_3$ -Basis enthält ebenfalls Stickstoff. Die verwendeten Produkte unterschieden sich auch bezüglich des pH-Werts der Spritzbrühe bei den angegebenen Konzentrationen. Der Dünger Agripotash hatte einen stark basischen pH-Wert, die beiden anderen Kaliumdünger waren eher neutral, der Mg-Dünger war im leicht sauren Bereich.

Tabelle 7: Berechnung der ausgebrachten Mengen an Kaliumdünger bei der Lanzendüngung

Dünger	Firma	Aufwandmenge	Kaliumgehalt (% K)	Kalium – Ausbringungsmenge (kg/ha)	Sonstiges	pH-Wert der Spritzbrühe
Agripotash	Phosyn, Plc	$5,0 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$	27,4	2,08		11,20
Nutrileaf 10-5-40 +4	Miller Chemical &Fertilizer Group	$5,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	33,2	1,66	$0,5\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$	6,30
$KNO_3$	Haifa Chemicals Ltd	$4,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$	38,7	1,55	$0,4\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ N}$	7,43
Agrovit Mg	Kwizda GmbH	$3,0 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$	0,0	0	$0,14\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ Mg}$	5,16

Die Blattdüngeranwendung fand an mehreren Terminen je Saison statt, und zwar 2003 an 4 Terminen nach der Blüte (23, 36, 50 und 60 Tage nach der Blüte). 2004 wurden die Behandlungen in 2 Blöcken ausgeführt, der erste Block (frühe Behandlung) bestand aus 3 Terminen um die Blüte (17 und 10 Tage vor und 10 Tage nach der Blüte), der zweite Block bestand aus 3 Terminen nach der Blüte (17, 30 und 45 Tage nach der Blüte) und war somit mit den Behandlungen aus dem Jahr 2003 vergleichbar.

Die Applikation erfolgte mit einem Rückensprüngerät (Fa. Stihl SR 400) an den einzelnen Spritzterminen in den frühen Morgenstunden. Je Standort und Variante wurden 20 bis 30 Reben behandelt.

## 3.6 Fragestellungen

### 3.6.1 Bewässerung

#### 3.6.1.1 Wasserpotenzialmessung

An den beiden Standorten in Andau (B3 und B4) wurde das Wasserpotenzial in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten bestimmt.

Predawn Water Potential: Am Standort B3, der durch seinen Schotterboden eine sehr trockene Lage darstellte, erfolgte die Messung des Predawn Water Potentials mehrmals während der Vegetationsperioden 2004 und 2005. Die Messungen fanden im Zeitraum Blüte bis Reife in ca. zweiwöchigem Intervall (Tabelle 8) statt. Im Jahr 2005 wurden die Messungen nach dem 12.08.05 eingestellt, da der Boden durch die starken Niederschläge voll mit Wasser gesättigt war und daher kein Wasserstress zu erwarten war. Am Standort B4 mit einem tiefgründigeren Boden wurde an einem Termin (05.07.2005) als Vergleich zum Standort B3 eine Messung des Predawn Water Potentials vorgenommen. Die Messung wurde an 4 Blättern (zwei Blätter je WH) durchgeführt.

Tabelle 8: Termine der Predawn Water Potential Messungen am Standort B3

Termin	2004	2005
1	01.07.04	20.06.05
2	16.07.04	05.07.05
3	28.07.04	18.07.05
4	12.08.04	29.07.05
5	27.08.04	12.08.05
6	09.09.04	

Wasserpotenzial im Tagesverlauf: Das Wasserpotenzial im Tagesverlauf wurde am Trockenstandort B3 im Jahr 2004 an vier ausgewählten Terminen und im Jahr 2005 an drei ausgewählten Terminen, an denen die Messung des Predawn Water Potential erfolgt war, bestimmt. Die Messungen des Tagesganges erfolgten an 2 Blättern (ein Blatt je WH) je Messtermin. Am zweiten Standort B4 fand die Messung des Tagesganges des Wasserpotenzials an einem Termin (06.08.2004) statt (Tabelle 9).

#### 3.6.1.2 Gaswechselfmessungen

Am Standort B3 wurde 2004 an einem Termin bzw. 2005 an drei Terminen (Tabelle 9) der Tagesgang des Gaswechsels in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten bestimmt. Zusätzlich erfolgte an zwei Terminen 2004 die Bestimmung der Leistungsfähigkeit der Rebblätter mittels A-Q-Kurven.

Am Standort B4 fand am 06.08.2004 die Messung der Gaswechselleistung in einem Tagesgang statt.

Tabelle 9: Termine und Art der Wasserpotenzial- und Gaswechselfmessungen am Standort B3 (2004 und 2005)

Jahr	Datum	Parameter	
		Wasserpotenzial	Gaswechsel
2004	01.07.04	Tagesgang	
	16.07.04		A-Q Kurven
	28.07.04	Tagesgang	A-Q Kurven
	12.08.04	Tagesgang	Tagesgang
	27.08.04	Tagesgang	
2005	20.06.05	Tagesgang	Tagesgang
	05.07.05		
	18.07.05	Tagesgang	Tagesgang
	29.07.05	Tagesgang	Tagesgang
	12.08.05		

### 3.6.1.3 Bestimmung des Wassergehalts im Boden mittels Adcon-Sensoren

An den drei Standorten mit Bewässerungsversuchen (B3, B4, und C4) wurde der Wassergehalt des Bodens mittels Wassergehaltssensoren (C-probe) der Firma Adcon ermittelt. Die Messung des Wassergehalts erfolgte bei den C-probes mittels Kapazitanz-Sensoren, die in den drei Bodentiefen 10, 30 und 50 cm auf den Sonden angebracht wurden. Die Sonden befanden sich bei allen Bewässerungsvarianten in der Rebzeile zwischen zwei Rebstöcken. Weiters war ein Niederschlagsmesser vorhanden, der unter dem Tropfer des Bewässerungsschlauches positioniert war und so die Dauer und Menge der Bewässerung erfasste. Die Datenerfassung und Weitergabe erfolgte über das Funksystem der Adcon- Wetterstationen. Bei der Messung wurden die Werte alle 15 Minuten erfasst. Für die Auswertung wurden Tagesmittelwerte gebildet.

### 3.6.2 Gaswechselleistung der Blätter unterschiedlicher Insertionshöhen im Jahresverlauf

An den Standorten A2, B3 und B4 wurden im Jahr 2005 an je einem repräsentativen Rebstock zu Beginn der Vegetationsperiode je 3 Triebe (Stammnaher Trieb, Trieb in der Mitte des Fruchtbogens, letzter Trieb am Fruchtbogen) markiert. An diesen markierten Trieben wurde an 7 Terminen (12.05.2005 = 4-Blatt-Stadium, 23.05.2005 = 7-Blatt-Stadium, 30.05.2005 = 9-Blatt-Stadium, 11.06.2005 = Blühbeginn, 24.06.2005 = Blühende, 13.07.2005 = Traubenschluss, 05.08.2005 = Reifebeginn) zwischen Austrieb bis Reifebeginn die Entwicklung beobachtet. Es wurden für jeden Trieb Trieblänge und Blattzahl, sowie für jedes Haupttriebblatt am Trieb Einzelblattfläche und Gaswechsel bestimmt. Nach dem Wipfeln der Triebe wurde exemplarisch die Blattfläche und der Gaswechsel der Blätter des obersten Geiztriebes ermittelt, der die „Verlängerung“ des Haupttriebes

darstellte. Durch die unterschiedliche Zahl der angeschnittenen Augen unterschieden sich die Reben in der Zahl der Triebe je Stock (Tabelle 10).

Tabelle 10: Triebzahl je Rebstock der Einzelstöcke an den 3 Standorten

	Standort		
	A2	B3	B4
Anzahl Triebe am Fruchtbogen	6	10	7
Anzahl Triebe am Ersatzzapfen	0	3	0
Gesamte Anzahl der Triebe pro Stock	6	13	7
Position der markierten Triebe (Position am Fruchtbogen, 1= Stammnah)	1, 4, 6	2 ,6, 10	3, 5, 7

Weiters wurde das Blattalter (in Tagen) errechnet. Dafür wurden an jedem Messtermin die neu entfaltenen Blätter gezählt, der Termin der Blattentfaltung eines Blattes (= erstmalige Messung) als Tag 0 gewertet. Wenn zwischen 2 Messungen mehr als ein Blatt neu entfaltet war, wurden der Messtermin als Tag 0 für das jüngste Blatt genommen und für die übrigen Blätter der Zeitraum zum vorigen Messtermin durch die Anzahl der neu entwickelten Blätter geteilt, und so der Tag der Blattentfaltung geschätzt (z.B. 3 Blätter in 9 Tagen neu entfaltet, bedeutet alle 3 Tage ein Blatt neu entfaltet).

### 3.6.3 Gaswechselleistung unterschiedlicher Laubwandbereiche in Abhängigkeit von Bewässerung und Laubwandhöhe

An den Standorten A2, B3 und B4 wurde geprüft, ob der Verlauf der Gaswechselleistung in den unteren, mittleren und oberen Laubwandbereichen von Kulturmaßnahmen beeinflusst wird. Auf den beiden Standorten B3 und B4 erfolgte die Messung in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten (ohne Bewässerung, normale Bewässerung, doppelte Bewässerung) und auf dem Standort A2 von der Laubwandhöhe (kurze Laubwand, normale Laubwand, langen Laubwand). Die Messtermine sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 11: Termine der Fotosynthesemessungen an den 3 Versuchsstandorten

Jahr	Termin	Standort		
		A2	B3	B4
2004	1	03.09.04	06.09. 04	
2005	1	17.06.05	17.06.05	17.06.05
	2	14.07.05	14.07.05	14.07.05
	3	11.08.05	11.08.05	11.08.05
	4	02.09.05	02.09.05	02.09.05

Die Messung erfolgte mit Ausnahme des erstens Termins 2005 je Variante und Laubwandzone an je 6 gut besonnten Blättern (3 Blätter in 2 Wiederholungen). Da am 17.06.05 am Standort A2 die Laubwand in allen 3 Versuchsvarianten noch nicht eingekürzt war, und an den Standorten B3 und B4 noch keine Bewässerung stattgefunden hatte, wurden jeweils nur 4 Blätter je Variante gemessen. Aufgrund der feuchten Witterung und des starken Auftretens von *Botrytis cinerea* wurde im Jahr 2005 am Standort A2 zur Traubenreife die Traubenzone betriebsseitig sehr stark entblättert, sodass im untersten Laubwandbereich keine Blätter mehr für Messungen vorhanden waren, und vor allem bei der verkürzten Laubwand die Blattmasse stark reduziert war.

Die Messungen wurden am ersten Termin 2004 aufgrund leicht wechselnder Besonnung mit Hilfe des Lichtaufsatzes ( $1800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) durchgeführt, an allen anderen Terminen erfolgte die Messung unter natürlichen Lichtbedingungen.

### 3.6.4 Kaliummangel an Blättern – Symptome, Bonitur, Gaswechselformung

#### Bonitur der Kaliummangelsymptome:

An den Standorten B4 (Andau) und C4 (Illmitz) wurde das Auftreten von Stöcken mit Blättern, die typische Kaliumblattmangelsymptome aufwiesen, in Abhängigkeit der Bewässerungsvarianten geprüft. Nach Einteilung der Rebstöcke in unterschiedliche Befallsklassen (Tabelle 12) erfolgte die Bonitur der Symptome am Standort B4 an 3 Terminen (28.06.05, 29.07.05 und 04.07.06) und am Standort C4 an 2 Terminen (01.07.05 und 04.07.06). Die Bonitur fand an beiden Standorten an Stöcken der Bewässerungsversuche statt.

Tabelle 12: Einteilung der Kaliummangelsymptome in Befallsklassen

Befallsklasse	Symptombeschreibung
0	symptomfrei
1	Blattspreite dunkelgrün, metallisch glänzend mit tütenartig nach oben gebogenen Blatträndern
2	Blätter wie oben mit zusätzlich vergilbtem Blattrand
3	Blätter, bei denen der Blattrand bereits Nekrosen aufweist
4	Helle, kleinwüchsige Blätter mit starken Nekrosen am Blattrand
5	Stöcke ohne Kaliummangelsymptome, die aber sehr schwachwüchsig sind
6	Blätter mit dunkelrotem Blattrand, die erst später in der Vegetationsperiode auftreten
7	Fleckenartige Verbräunung der Blattspreite, die erst später in der Vegetationsperiode auftritt

#### Gaswechselformung in Abhängigkeit der Kaliumblattmangelsymptome:

An beiden Standorten erfolgten Gaswechselformungen an Blättern jeder Befallskategorie von Rebstöcken der normal bewässerten Variante. Am Standort B4 wurden die Messungen am 16.07.04 und am 28.07.05 durchgeführt, am Standort C4 nur am 14.07.2004, da 2005 die Stöcke weitgehend nur mehr die Befallsklasse 1 (Blattglänzen) aufwiesen. Die Messungen des Gaswechsels wurden immer im gesunden (grünen) Teil der Blattspreite (im inneren Bereich) durchgeführt.

Messungen der Fotosynthese-Lichtkurven (A-Q-Kurven) wurden an gesunden Blättern und Blättern mit Kaliummangelsymptomen am Standort B4 (am 08.07.2004 am 21.07.2004 und 30.07.2004) durchgeführt.

### **3.6.5 Gaswechsel in Abhängigkeit der Bodendüngung**

An den gedüngten Stöcken sowie an unbehandelten Kontrollen wurden im Sommer 2004 und im Folgejahr 2005 Fotosynthesemessungen durchgeführt. Anfang Juli (Fruchtansatz; Termin 1/04) und Anfang August 2004 (Reifebeginn, Termin 2/04) sowie Ende Mai 2005 (Vorblüte, Termin 1/05) wurden die Messungen an allen vier Standorten durchgeführt. Zusätzliche Messungen fanden Anfang September 2004 (Termin 3/04) an den Standorten B3, A2 und C5, sowie Mitte Juli 2005 (Termin 2/05) an den Standorten B3 und C5 statt. Je Variante und Wiederholung wurde 2004 ein Blatt je Stock (5 behandelte Stöcke) gemessen ( $n = 5$ ) und 2005 zwei Blätter je Stock ( $n = 10$ ). Die Messungen erfolgten bei wolkenlosem Himmel unter natürlichen Bedingungen, bei wechselnder oder andauernder Bewölkung wurde der Lichtaufsatz mit einer Lichtstärke von ( $1750 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) verwendet. Zu Reifebeginn 2004 sowie zur Blüte 2005 wurden aus den einzelnen Varianten Blattproben zur Nährstoffuntersuchung gezogen.

### **3.6.6 Gaswechsel in Abhängigkeit der Blattdüngung**

Die Messung des Gaswechsels in Abhängigkeit der Blattdüngung erfolgte je Standort und Variante an 10 gut belichteten Blättern. Die Gaswechsellmessungen wurden im Jahr 2004 zum Zeitpunkt der Blüte sowie zum Traubenschluss und 2005 kurz vor der Blüte gemessen. Die Messtermine kurz vor oder zur Blüte dienten wie die Entnahme der Blattproben kurz danach zur Bestimmung von Effekten aus dem Vorjahr. Weiters wurden aus den Versuchsvarianten zu Reifebeginn 2003 zu Blüte und zu Reifebeginn 2004 sowie zur Blüte 2005 Blattproben zur Nährstoffanalyse entnommen. Die Probenahme zur Blüte sollte neben dem Effekt der frühen Behandlung auch aufzeigen, ob sich durch die Blattdüngung im Vorjahr eine Veränderung in der Nährstoffzusammensetzung im Frühjahr des Folgejahres ergibt.

## **3.7 Statistische Auswertung**

Die statistische Berechnung der Ergebnisse erfolgte mittels SPSS 11.0. Unterschiede zwischen den Behandlungen wurden mittels ANOVA geprüft, bei signifikanten Unterschieden ( $p \geq 0,05 = \text{ns}$ ;  $p < 0,05 = *$ ;  $p < 0,01 = **$  und  $p < 0,001 = ***$ ), wurden die Mittelwerte mit Student Newman Keul's Test verglichen. Die Regressionen wurden mit Sigma-Plot berechnet.

### 3.8 Verwendete Abkürzungen

Tabelle 13: Liste der verwendeten Abkürzungen

Parameter	Abkürzung	Einheit
Nettotosyntheseleistung	A	$\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Stomatäre Leitfähigkeit für Wasser	gs	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Transpirationsrate	E	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Water Use Efficiency	WUE	$\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O}$
Photosynthetic Active Radiation	Q	$\mu\text{mol Photonen} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
Predawn Water Potential	$\psi_{\text{PD}}$	MPa
Blattwasserpotenzial	$\psi_{\text{L}}$	MPa
Bodenwassergehalt	$\Theta$	%vol

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Witterung und Phänologie

In Abbildung 2 sind die Tagesdurchschnittstemperaturen für die Gebiete Neusiedl am See, Gols und Mönchhof, Andau und Eisenstadt und Umgebung im Vergleich zum langjährigen Mittel (1971 – 2000, ZAMG 2002) dargestellt. Die Tabelle 14 zeigt die monatlichen Niederschlagssummen in den Versuchsgebieten im Vergleich zum langjährigen Mittel. Die phänologische Entwicklung ist in Tabelle 15 zusammengefasst.

#### 2003

Das Jahr 2003 war überdurchschnittlich warm mit unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen. Das Jahresmittel der Lufttemperatur lag im Durchschnitt 0,6 bis 1,0° C über dem langjährigen Wert, die Niederschlagsmengen betragen ca. 50-90 % der Erwartungswerte. Nach einem durchschnittlichen Jänner brachten die Monate Februar, März und April stark unterdurchschnittliche Niederschläge, wobei es im Februar am trockensten war. Auffallend war die erste ungewöhnliche Hitzeperiode Ende April. Die mittleren Temperaturen im Mai lagen ca. 2,5 bis 3,5° C über dem Mittel, die Niederschläge waren durchschnittlich bis leicht unterdurchschnittlich. Diese Wärmeperiode führte dazu, dass die Vollblüte bei Zweigelt bereits zwischen 31. Mai (Seewinkel) und 2. Juni (Eisenstadt) erfolgte. Im Juni setzte sich die Hitzeperiode fort. Mit 4 bis 6° C über dem langjährigen Schnitt war dies der wärmste Juni seit Messbeginn, in der gleichen Zeit betragen die Niederschläge nur ca. 50 % des langjährigen Mittels. Aufgrund der überdurchschnittlich heißen Witterung fand der Reifebeginn bereits zwischen 17. und 20. Juli statt. Die mittleren Temperaturen lagen auch im Juli und August 1,5 bis 5,0 °C über dem Durchschnitt. Zwar fielen im Juli normale Niederschlagsmengen, im August lagen sie jedoch wieder bei 50 % des langjährigen Mittels. Diese Temperaturentwicklung führte dazu, dass im Jahr 2003 bereits Anfang September die Lese der Zweigelt-Trauben bei hoher Reife abgeschlossen wurde.

#### 2004

Das Jahr 2004 war in Summe normal temperiert und daher um 0,5° C bis 1,0° C kühler als 2003, auch die Niederschlagsmengen lagen im Durchschnitt der Jahre. Von Jänner bis März gab es normale Niederschlagsmengen. Der April war etwas übertemperiert und zeigte gebietsweise leicht unterdurchschnittliche Niederschläge. Nach dem Austrieb waren im Mai die Temperaturen jedoch unterdurchschnittlich, wodurch die Vegetationsentwicklung nach dem Austrieb Ende April stark verzögert wurde. Auf den kühlen Mai folgte der Juni, der zwar im Mittel normal temperiert war, aber überdurchschnittliche Niederschläge brachte. Dies führte dazu, dass die Reblüte bei Zweigelt im Vergleich zum Vorjahr um ca. 3 Wochen später zwischen dem 17. und 21. Juni stattfand. Danach stellte sich das Wetter um: Juli und August lagen in den Temperaturen leicht über dem Mittel, dazu

betrug die Niederschlagsmenge im Juli weniger als 50 %, der August war leicht unterdurchschnittlich. Der Reifebeginn erfolgte entsprechend dem späten Blütetermin erst zwischen 8. und 12. August. Auch der September zeigte sich warm und trocken, sodass mit der Lese bis Ende September/Anfang Oktober zugewartet wurde.

#### 2005

Das Jahr 2005 entsprach im Jahresmittel der Lufttemperatur annähernd dem langjährigen Durchschnitt. Die einzelnen Monatsabschnitte verhielten sich aber sehr unterschiedlich. Die Monate Februar und März waren merklich kälter als in den vergangenen Jahren, teilweise wurden Temperaturen unter  $-20^{\circ}\text{C}$  beobachtet. Bis zum 20. April gab es kurz vor Rebenaustrieb noch Morgenfrost. Gegen Ende April bis Anfang Mai trat abrupt ein Wetterumschwung mit überaus hohen Temperaturen ein, wodurch die Rebenphänologie sehr zügig voranschritt, jedoch stellte sich um den 10. Mai erneut eine Periode mit tiefen Temperaturen ein. Im Juni lagen trotz einer regnerisch kühlen Phase am Beginn des Monats die durchschnittlichen Temperaturen über dem langjährigen Mittel. Außerdem war der Juni in Summe trocken, es fielen teilweise nur bis zu 50 % der erwarteten Niederschläge. Der Blühbeginn fand in einer kühleren Phase Anfang Juni statt, die Vollblüte bei Zweigelt erfolgte am 13. Juni. Damit lag der Blütezeitpunkt ca. eine Woche früher als 2004, jedoch 2 Wochen später als im extrem frühen Jahr 2003. Der Juli war im Vergleich zum langjährigen Mittel im gesamten Gebiet leicht übertemperiert, jedoch fielen bereits im Juli überdurchschnittliche Niederschläge. Reifebeginn war im Burgenland bei Zweigelt Ende Juli Anfang August. Wie bei der Blüte lag auch hier der Termin ca. eine Woche (bis 10 Tage) vor dem Reifebeginn des Vorjahrs. Im August kam es zu sehr starken Niederschlägen, sie lagen im Durchschnitt zwischen 175-225 % des Erwartungswertes. Zusätzlich lagen die Augusttemperaturen im Burgenland ca.  $0,5$  bis  $1,5^{\circ}\text{C}$  unter dem Durchschnitt. Durch die Schlechtwetterperiode nach Reifebeginn kam es in diesem Jahr zu starkem Auftreten von *Botrytis cinerea*, wodurch relativ früh mit der Lese begonnen werden musste. Sie war bis Ende September abgeschlossen.

#### 2006

Das Jahr 2006 zeichnete sich zu Beginn durch unterdurchschnittliche Temperaturen in den Monaten Jänner bis März und teils strengen Frost aus. Die mittleren Temperaturen lagen vor allem in den nördlichen Teilen des Burgenlands im Jänner und Februar  $1,5$  bis  $2,5$  Grad unter dem langjährigen Durchschnitt, und auch im März herrschte in den ersten 3 Wochen noch teils strenger Frost, bei Temperaturen, die  $0,5$  bis  $1,5$  Grad unter dem langjährigen Mittel lagen. Erst Ende März waren warme Tage zu beobachten und der folgende April war überdurchschnittlich temperiert. In diese warme Periode fiel auch der Rebaustrieb. Nach dem Austrieb folgten im Mai etwa durchschnittliche Temperaturen bei ebenfalls durchschnittlichen Niederschlagsmengen, allerdings stellte sich gegen Ende des Monats ein Kaltlufteinbruch ein, der das Rebenwachstum beeinträchtigte. Erst gegen Ende

des ersten Junidrittels konnte ein Ende der kalten Witterung mit einer deutlichen Erwärmung beobachtet werden. In diese Zeit fiel auch der Beginn der Reblüte bei Zweigelt. Durch die anhaltend überdurchschnittlichen Temperaturen, die bis Ende Juni herrschten, ging die Blüte sehr zügig voran, sodass nach der Vollblüte ca. am 16./17. Juni bis 19. Juni die Reblüte überall abgeschlossen war. Auch der Fruchtansatz und die beginnende Beerenentwicklung schritten durch die überaus warme und trockene Witterung bis Ende Juni rasch voran. Die Niederschläge lagen etwas über dem Mittel und waren stark durch das Auftreten von lokalen Gewitterregen vor allem Ende des Monats geprägt. Der Juli war, wie in ganz Österreich, außergewöhnlich heiß, und vielerorts der wärmste seit Beginn der Messreihen. Begleitet waren die hohen Temperaturen von geringen Niederschlägen, die stellenweise unter 25 % des Durchschnittswertes lagen. Der Reifebeginn fand bei Zweigelt ca. am 1. August statt, somit war die phänologische Entwicklung zu diesem Zeitpunkt vergleichbar mit dem Vorjahr. August und September 2006 verhielten sich gegensätzlich. Der August war im Durchschnitt zu kühl, auch die Regenmengen lagen über dem langjährigen Mittel, dennoch konnte ein guter Reifefortschritt im Vergleich zum Vorjahr beobachtet werden. Der September zeichnete sich hingegen durch sehr warmes und trockenes Wetter aus, wodurch die Reife begünstigt wurde. Die Lese von Zweigelt begann im Seewinkel in der zweiten Septemberwoche.

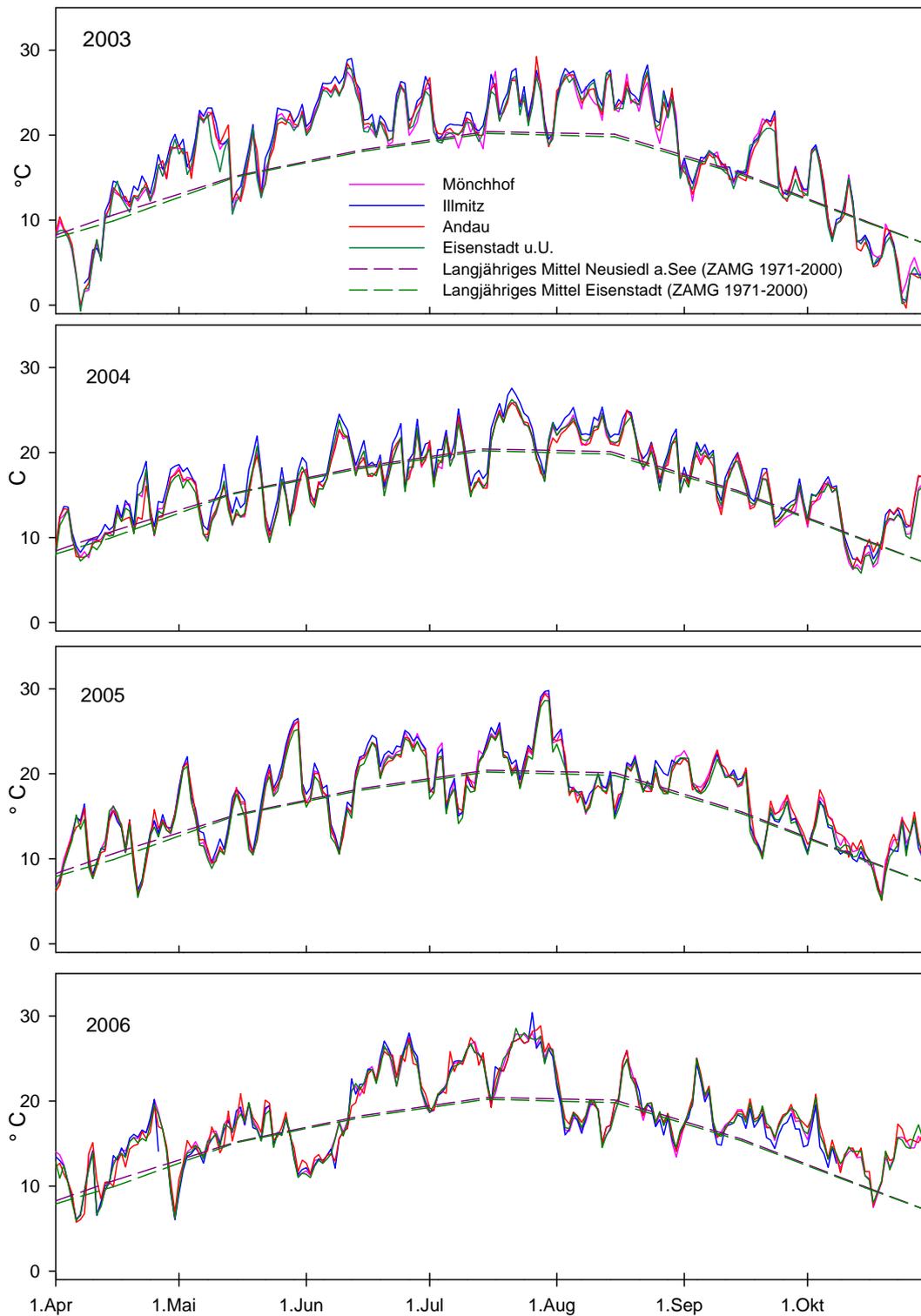


Abbildung 2: Tagesdurchschnittstemperaturen (° C) in den Vegetationsperioden von April bis Oktober in den Versuchsgebieten in den Jahren 2003-2006 im Vergleich zum langjährigen Mittelwert (1971-2000)

Tabelle 14: Monatliche Niederschlagssummen (mm Niederschlag) in den Versuchsgebieten in den Jahren 2003 - 2006 im Vergleich zum langjährigen Mittel (1971-2000)

Gebiet	Monat	2003	2004	2005	2006	Langjähriges Mittel ZAMG (1971-2000) <sup>3</sup>
Neusiedl a. See	Jänner	52	46	35	53	32
	Februar	0	47	57	32	29
	März	9	40	17	45	37
	April	17	52	49	72	42
	Mai	55	62	62	87	61
	Juni	28	97	33	80	65
	Juli	35	24	77	12	64
	August	20	57	174	151	63
	September	16	36	61	5	50
	Oktober	43	44	2	19	44
	November	20	41	53		48
	Dezember	21	34	40		40
Andau	Jänner	33	33	14	55	
	Februar	1	29	35	24	
	März	4	49	16	33	
	April	18	58	55	48	
	Mai	73	59	49	63	
	Juni	32	126	27	48	
	Juli	58	24	87	13	
	August	29	41	192	112	
	September	19	30	34	23	
	Oktober	53	39	2	31	
	November	18	30	46		
	Dezember	19	17	61		
Eisenstadt	Jänner	50	47	28	66	34
	Februar	1	56	37	29	30
	März	13	45	14	43	45
	April	28	28	41	69	52
	Mai	47	88	59	70	63
	Juni	32	112	32	105	71
	Juli	55	21	77	26	67
	August	31	52	151	136	60
	September	24	27	60	17	59
	Oktober	46	44	3	19	44
	November	24	25	41		54
	Dezember	24	18	46		41

<sup>3</sup> Für die Wetterstation Andau ist kein langjähriges Mittel verfügbar

Tabelle 15: Phänologische Daten von Zweigelt aus den Versuchsgebieten in den Jahren 2003-2006

Jahr	Gebiet	Vollblüte	Reifebeginn
2003	Seewinkel	31.05.	17.07.
	Eisenstadt	02.06.	20.07.
2004	Seewinkel	18.06.	08.08
	Eisenstadt	20.06.-22.06.	10.08.
2005	Seewinkel	13.06	31.07.
	Eisenstadt	14.06.-17.06.	01.08.
2006	Seewinkel	16.06.	31.07.
	Eisenstadt	17.06.	31.07.

## 4.2 Bewässerung

### 4.2.1 Verlauf des Predawn Water Potentials und des Wassergehalts im Boden in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten

Während der Vegetationsperiode wurde am Standort B3 in den Jahren 2004 und 2005 der Bodenwassergehalt ( $\Theta$ ) und das Predawn Water Potential ( $\Psi_{PD}$ ) der Reben der unterschiedlichen Bewässerungsvarianten bestimmt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 3 und 6 (ohne Bewässerung), Abbildungen 4 und 7 (normale Bewässerung) und Abbildungen 5 und 8 (doppelte Bewässerung) dargestellt. In den Abbildungen sind weiters die Tagesniederschlagssummen (mm) und bei den Varianten normal bewässert und doppelt bewässert die Tagesbewässerungsmengen (Liter je Tropfer) dargestellt.

Die Abbildungen 3 bis 5 zeigen die Verläufe im Jahr 2004 für die Varianten nicht bewässert, normal bewässert und doppelt bewässert. Bei der Variante ohne Zusatzbewässerung kann man den Verlauf der Wassergehalte und des Predawn Water Potentials unter natürlichen, jahresspezifischen Bedingungen, ohne Einfluss der Zusatzbewässerung erkennen. Im Jahr 2004 gab es ausreichende Niederschläge von Austrieb bis zur Blüte. Man sieht, dass die Bodenwassergehalte bis Mitte Juni, abgesehen von kurzfristigen Schwankungen, im Mittel auf demselben Niveau bleiben. Ab Mitte Juni kam es in den Bodentiefen 30 und 50 cm zu einer kontinuierlichen Abnahme des Wassergehalts, der bis nach der Lese Ende September andauerte. Der Wassergehalt nahm in der Vegetationsperiode von 27,5 % (30 cm) und 25,6 % (50 cm) um ca. 7 % auf 20,9 % (30 cm) und 18,2 % (50 cm) ab. Die Messungen bis zum Jahresende (nicht in der Abbildung dargestellt) ergaben, dass der Wassergehalt teilweise wieder anstieg, jedoch unter dem Niveau zu Austrieb blieb. Der Wassergehalt im oberen Bereich (10 cm) reagierte am stärksten auf Niederschläge und zeigte somit die größten Schwankungen. Nach den Niederschlagsereignissen Ende September mit ca. 14 mm stieg der Wassergehalt in der obersten Schicht bereits deutlich an, während die Werte in den tieferen Schichten unverändert blieben. Die Messungen des Predawn Water Potentials begannen nach der Blüte, Anfang Juli. Bei der ersten Messung war noch kein Wasserstress zu beobachten, die Werte lagen nur knapp unter null. Mit abnehmender Bodenfeuchte sank auch das Predawn Water Potential 14 Tage später auf  $-0,07$  MPa. Ende Juli lagen die Werte schon deutlich negativer bei ca.  $-0,20$  MPa. Ein Grund für den relativ starken Abfall des Predawn Water Potentials dürften neben der kontinuierlich abnehmenden Bodenfeuchte auch die Witterungsbedingungen bei der Messung sein. Es war sehr windig, wodurch es eventuell zu leichter Transpiration gekommen sein könnte, und folglich das Predawn Water Potential nicht im Gleichgewicht mit dem Bodenwasserpotenzial lag sondern etwas niedriger. Beim nächsten Termin waren die Werte wieder höher bei  $-0,12$  MPa, obwohl nur sehr geringe Niederschläge gefallen waren und der Bodenwassergehalt weiter gesunken war. Auch dies weist darauf hin, dass die Messung zum vorigen Termin etwas niedrigere Werte angezeigt hatte als tatsächlich vorhanden waren, da bei

der Messung am 12.08.04 Windstille herrschte und die Blätter vor Sonnenaufgang zum Teil taunass waren.

Ende August während der Beerenreife fiel der Wert durch die anhaltende Trockenheit bereits deutlich auf -0,42 MPa. Bei der letzten Messung lag der Predawn Wert wieder geringfügig höher bei -0,38 MPa.

Die betriebsübliche Bewässerung des Standorts B3 setzte im Jahr 2004 Mitte Juli ein, und wurde bis Anfang September in ca. 5- bis 12-tägigem Intervall fortgeführt, insgesamt fanden an 6 Terminen Bewässerungsgänge statt (Abbildung 4). Die Auswertung des Bodenwassergehalts zeigt, dass durch die Bewässerung die Bodenfeuchtigkeit in der Rebzeile bis zur Tiefe von 50 cm stark angehoben wurde, jedoch nach Beendigung der Bewässerung relativ schnell wieder absank. Nach der beginnenden Trockenheit Mitte Juni wurden durch die ersten zwei Bewässerungsgänge am 12. und 18. Juli die Bodenwassergehalte in allen drei Tiefen kurzzeitig auf ein sehr hohes Niveau angehoben. Zwischen den Bewässerungsgängen sanken die Werte allerdings immer stärker ab, erst Ende August setzte eine Stagnation ein. Trotz der starken Bewässerung verringerten sich die Bodenwassergehalte von Anfang Mai bis Ende September in den Tiefen 30 cm und 50 cm um 2–3 % und konnten sich auch bei dieser Variante bis Jahresende nicht wieder vollständig erholen. Die Messungen des Predawn Water Potentials ergaben einen ähnlichen Verlauf wie bei der nicht bewässerten Variante, jedoch war der Wasserstress durch die Bewässerung geringer und das Wasserpotenzial sank nicht so stark ab. Mit Ausnahme des dritten Termins (28.07.2004) kam es zu einer kontinuierlichen Abnahme des Predawn Water Potentials von anfangs knapp unter Null auf -0,27 MPa Mitte September. Diese Abnahme des Wasserpotenzials stimmte mit der Abnahme des Bodenwassergehalts überein und konnte auch durch häufige Bewässerung nicht verhindert werden.

Die doppelte Bewässerung fand zu den gleichen Terminen wie die betriebsübliche Bewässerung statt, jedoch wurde je Bewässerungsgang die doppelte Wassermenge ausgebracht (Abbildung 5). Bei der doppelt bewässerten Variante standen aufgrund eines technischen Defekts nur die Messwerte des Bodenwassergehalts in 10 cm und in 50 cm Tiefe zur Verfügung. Der Verlauf des Bodenwassergehalts in 50 cm Tiefe zeigt, dass durch die erhöhten Bewässerungsmengen der Bodenwassergehalt zwischen den Bewässerungsgängen nicht so stark absank wie bei der betriebsüblichen Bewässerung. Nach dem letzten Bewässerungsgang sank aber auch hier der Wassergehalt in 50 cm deutlich ab und lag Ende September um ca. 3 % unter dem Wert von Anfang Mai. Der Gang des Blattwasserpotenzials ist vergleichbar mit dem der normalen Bewässerung, das heißt trotz doppelter Wassermenge und erhöhter Bodenfeuchte in der Rebzeile konnte der Abfall des Predawn Water Potentials nicht verhindert werden.

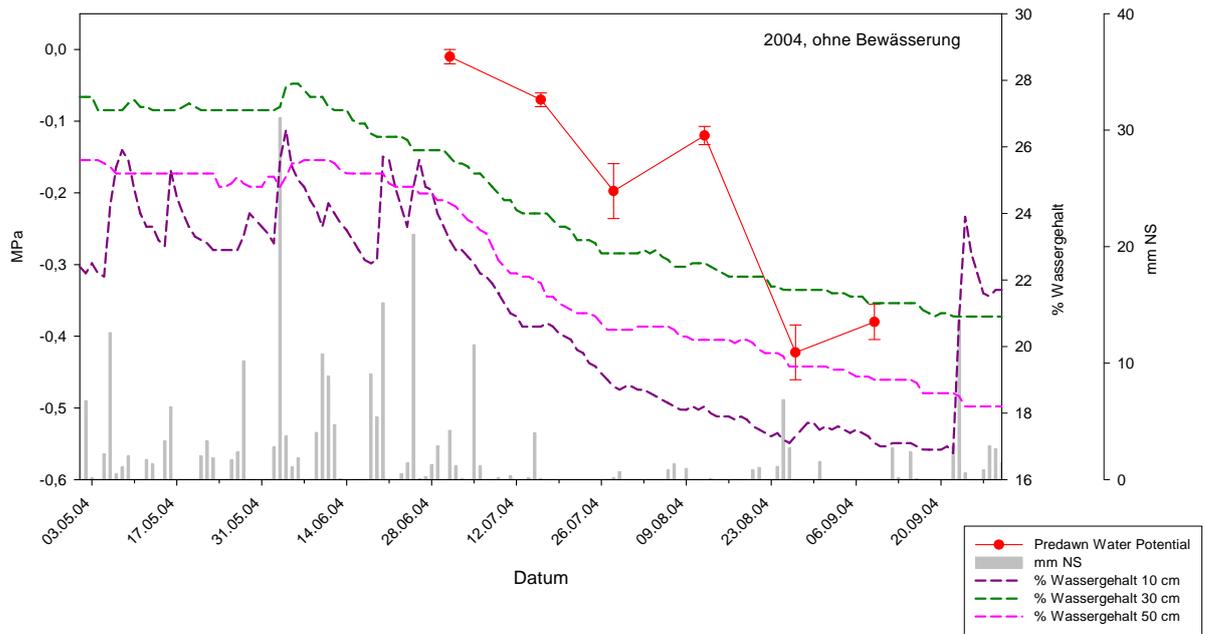


Abbildung 3: Variante nicht bewässert - Verlauf des Bodenwassergehalts in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm und des Predawn Water Potentials der Rebe samt Tagessniederschlagssummen am Standort B3 im Jahr 2004

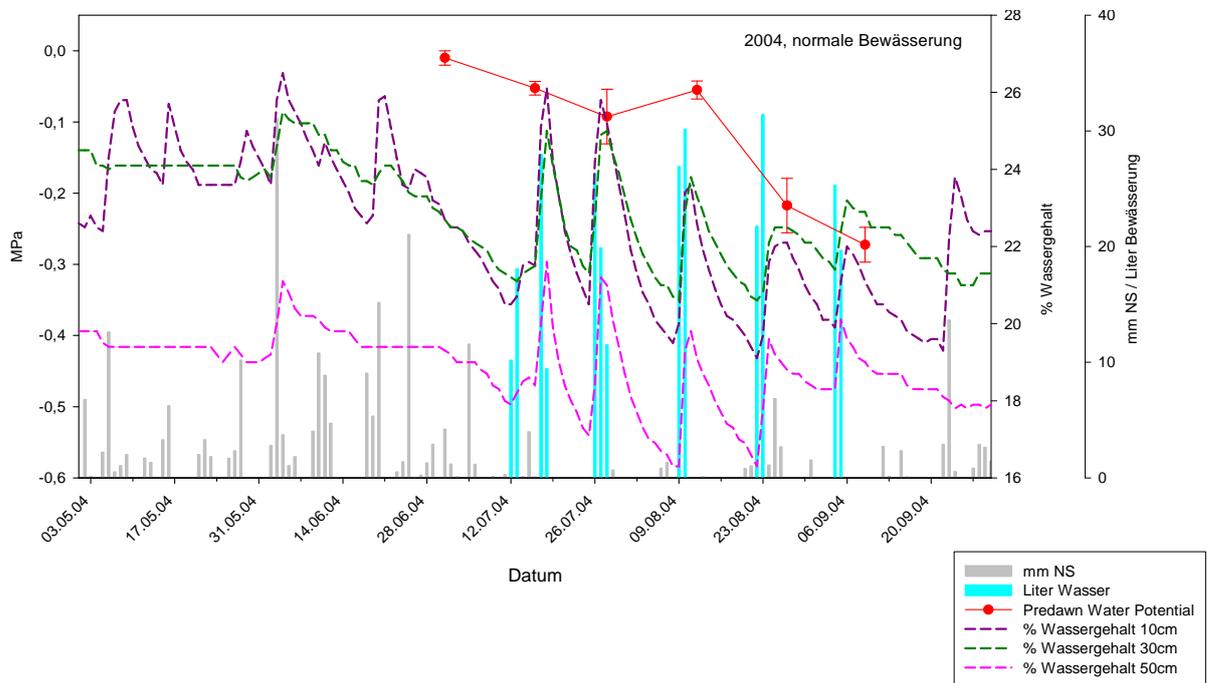


Abbildung 4: Variante normal (betriebsüblich) bewässert - Verlauf des Bodenwassergehalts in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm und des Predawn Water Potentials der Rebe samt den Tagessniederschlagssummen und Bewässerungsmengen am Standort B3 im Jahr 2004

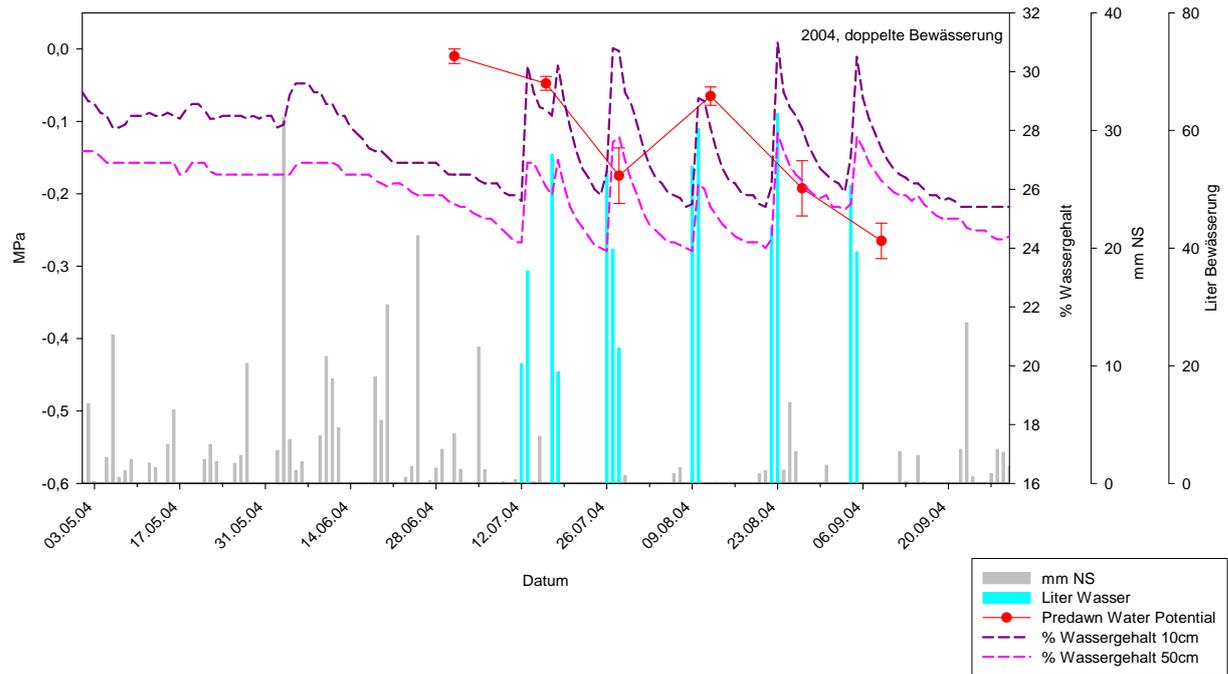


Abbildung 5: Variante doppelt bewässert - Verlauf des Bodenwassergehalts in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm und des Predawn Water Potentials der Rebe samt den Tagessniederschlagssummen und Bewässerungsmengen am Standort B3 im Jahr 2004

Das Jahr 2005 (Abbildungen 6 bis 8) zeigte hinsichtlich Niederschlagsverteilung und daraus resultierenden Bewässerungsgängen ein völlig anderes Bild als das Jahr 2004. Bereits kurz nach dem Austrieb Anfang Mai lag der Bodenwassergehalt bei allen Varianten und Messtiefen ca. 1 % unter jenem des Vorjahres. Zwischen Austrieb und Blüte gab es weniger Niederschläge als im Vorjahr, wodurch der Bodenwassergehalt vor der Blüte in allen Bodentiefen weiter deutlich absank. Die trockene Periode dauerte bis Ende Juni/Anfang Juli, danach setzten Niederschläge ein, die die Bodenwassergehalte wieder steigen ließen. Da zu dieser Zeit die Funkübertragung der Messdaten der Bodensensoren ausfiel, fehlt der exakte Verlauf des Bodenwassergehalts zu diesem Zeitpunkt. Danach kam erneut eine trockene Phase mit sinkenden Bodenwassergehalten. Diese dauerte bis Reifebeginn und wurde erst durch anhaltend starke Niederschläge, die vom 13. August bis Ende August dauerten, beendet. Durch diese ungewöhnlich großen Regenmengen war bis zur Lese ausreichend Bodenfeuchte und keinerlei Wasserstress vorhanden. Im Gegensatz zum Vorjahr kam es nur zu einem geringen Abfall der Bodenwassergehalte von Austrieb bis zur Lese, die Werte Ende September lagen bei der nicht bewässerten Variante ca. 3,5 % über jenen des Vorjahres. Am Jahresende herrschte ca. dieselbe Bodenfeuchte wie zur Zeit des Austriebes.

Der Verlauf des Predawn Water Potentials zeigt, dass bei der ersten Messung Ende Juni in der nicht bewässerten Variante (Abbildung 6) mit -0,08 MPa bereits ein niedrigerer Wert als im Vorjahr gegeben war. Entsprechend der trockenen Witterung sank das Wasserpotenzial bis zur nächsten

Messung weiter auf -0,15 MPa. Durch die Niederschläge und den steigenden Bodenwassergehalt lag das Predawn Water Potential bei der folgenden Messung Anfang Juli nahe bei Null. Danach sank es wieder und lag Anfang August bei -0,18 MPa. Einen Tag nach dieser Messung setzten die starken Niederschläge ein.

Bei der normal bewässerten Variante (Abbildung 7) ist zu sehen, dass in der Vegetationsperiode nur zwei Bewässerungsgänge, der erste während der Trockenperiode Mitte Juni und der zweite Ende Juli noch vor Einsetzen der starken Niederschläge, stattgefunden hatten. Der Verlauf des Predawn Water Potentials bei normaler Bewässerung entsprach grundsätzlich dem Verlauf in der nicht bewässerten Variante. Nur bei den ersten beiden Terminen lag das Predawn Water Potential in der bewässerten Variante tendenziell etwas höher als in der unbewässerten.

Bei der Variante mit doppelter Bewässerungsmenge (Abbildung 8) wurde durch die großen Bewässerungsmengen zusammen mit den natürlichen Niederschlägen der Wassergehalt bis Jahresende sogar leicht angehoben. Der Bodenwassergehalt in 50 cm Tiefe lag Anfang Mai bei 25,8 %, Ende September ungefähr gleich bei 25,7 % und erhöhte sich bis Ende Dezember auf 26,1 %.

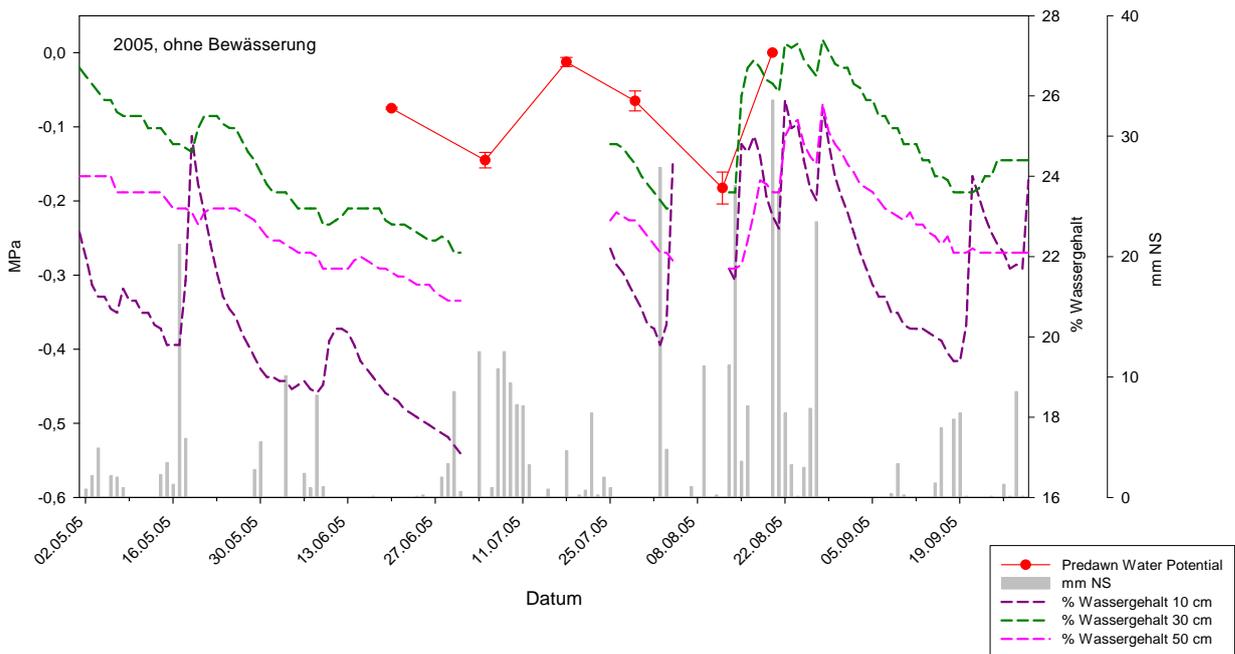


Abbildung 6: Variante nicht bewässert - Verlauf des Bodenwassergehalts in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm und des Predawn Water Potentials der Rebe samt den Tagessniederschlagssummen am Standort B3 im Jahr 2005

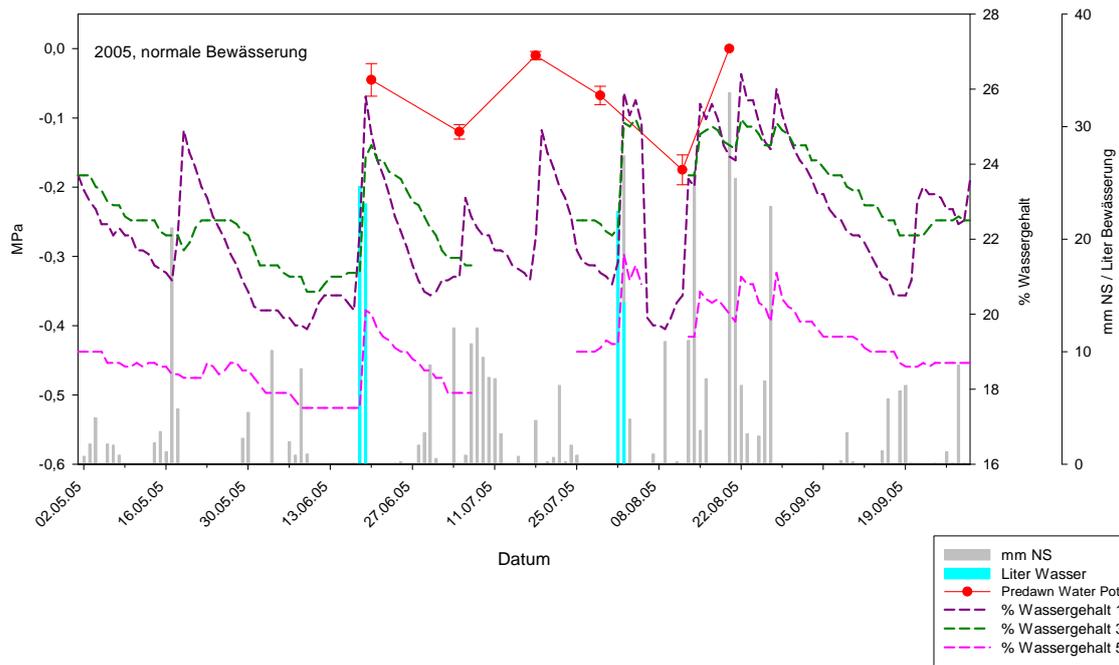


Abbildung 7: Variante normal (betriebsüblich) bewässert - Verlauf des Bodenwassergehalts in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm und des Predawn Water Potentials der Rebe samt den Tagessniederschlagssummen und Bewässerungsmengen am Standort B3 im Jahr 2005

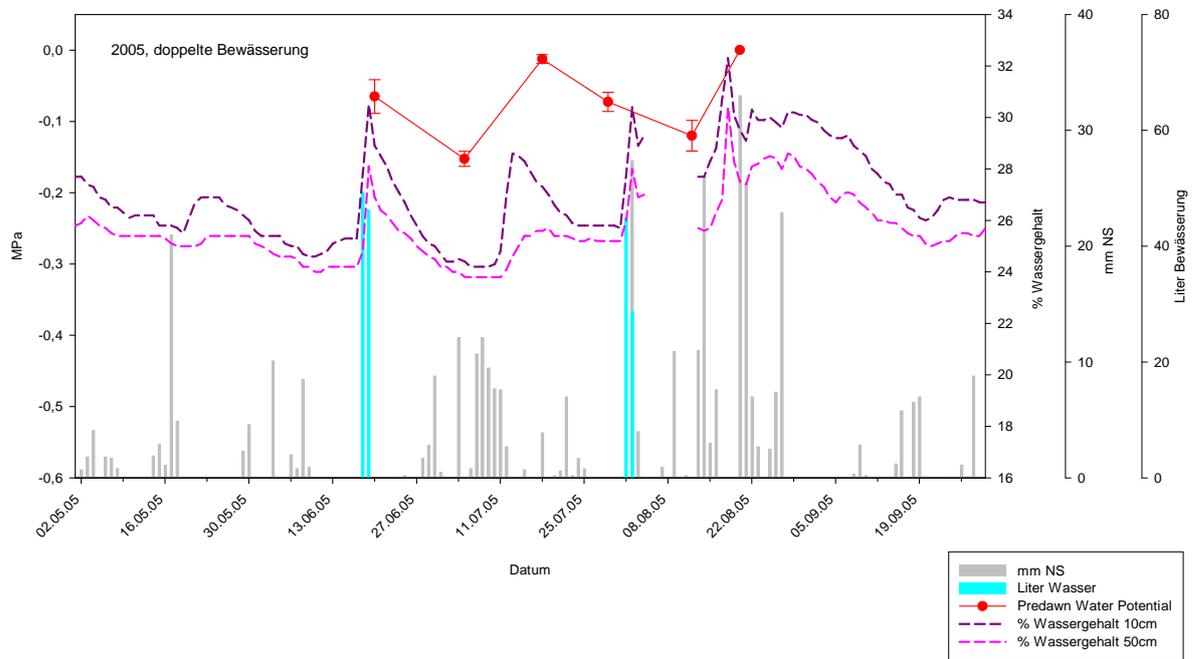


Abbildung 8: Variante doppelt bewässert - Verlauf des Bodenwassergehalts in den Bodentiefen 10, 30 und 50 cm und des Predawn Water Potentials der Rebe samt den Tagessniederschlagssummen und Bewässerungsmengen am Standort B3 im Jahr 2005

In den Tabellen 16 und 17 sind die Werte des Predawn Water Potentials für die drei Versuchsvarianten an den Messterminen in beiden Jahren zusammengefasst. Im ersten Versuchsjahr, in dem insgesamt sechs Bewässerungsgänge stattgefunden haben, lässt sich über die gesamte Vegetationsperiode gesehen ein signifikanter Unterschied des Predawn Water Potentials zwischen den Varianten erkennen. Die nicht bewässerte Variante liegt niedriger als die normale und die doppelte Bewässerung. Die doppelte Bewässerung unterscheidet sich allerdings nicht von der normalen Bewässerung, was bedeutet, dass durch die Gabe der doppelten Wassermenge im gleichen Intervall wie bei der normalen Bewässerung keine Verbesserung der Wasserversorgung und keine Verminderung des Wasserstresses erzielt werden konnten. Die Berechnung der einzelnen Termine zeigte, dass die Unterschiede im Predawn Water Potential bei den letzten drei Messungen ab dem 12.08.04 bis 09.09.04 signifikant waren. Im Jahr 2005, in dem nur an zwei Terminen Bewässerungsgänge stattgefunden hatten, gab es keinen Unterschied zwischen den Predawn Werten der drei verschiedenen Bewässerungsvarianten.

Tabelle 16: Verlauf des Predawn Water Potentials in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten am Standort B3 im Jahr 2004

Termin	Predawn Water Potential (MPa)			Mittelwert	Signifikanz
	Ohne Bewässerung	Normale Bewässerung	Doppelte Bewässerung		
01.07.04	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	1,000ns
16.07.04	-0,07	-0,05	-0,05	-0,06	0,274ns
28.07.04	-0,20	-0,09	-0,18	-0,16	0,181ns
12.08.04	-0,12b	-0,06a	-0,07a	-0,08	0,012*
27.08.04	-0,42b	-0,22a	-0,19a	-0,28	0,004**
09.09.04	-0,38b	-0,27a	-0,27a	-0,31	0,015*
Mittelwert	-0,20b	-0,12a	-0,13a		0,003**

Tabelle 17: Verlauf des Predawn Water Potentials in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten am Standort B3 im Jahr 2005

Termin	Predawn Water Potential (MPa)			Mittelwert	Signifikanz
	Ohne Bewässerung	Normale Bewässerung	Doppelte Bewässerung		
20.06.05	-0,08	-0,05	-0,07	-0,06	0,172ns
05.07.05	-0,15	-0,12	-0,15	-0,14	0,127ns
18.07.05	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,946ns
29.07.05	-0,07	-0,07	-0,07	-0,07	0,922ns
12.08.05	-0,18	-0,18	-0,12	-0,16	0,134ns
Mittelwert	-0,10	-0,08	-0,08		0,119ns

Im Jahr 2005 wurde als Vergleich zum Standort B3 zum Zeitpunkt der zweiten Messung am 05.07. eine Messung des Predawn Water Potentials am nahe gelegenen Standort B4 durchgeführt, auf dem

die gleichen Versuchsvarianten nicht bewässert, normal bewässert und doppelt bewässert vorhanden waren. Das Ergebnis in Tabelle 18 zeigt, dass auf dem Standort B4 Anfang Juli 2005 beinahe dasselbe Predawn Water Potential herrschte wie am sehr trockenen Standort B3. Die Werte lagen im Mittel bei -0,13 MPa und es bestanden kaum Unterschiede zwischen den Varianten.

Tabelle 18: Predawn Water Potential am 05.07.2005 am Standort B4

Termin	Predawn Water Potential (MPa)			Mittelwert
	Ohne Bewässerung	Normale Bewässerung	Doppelte Bewässerung	
05.07.05	-0,15	-0,12	-0,13	-0,13

#### 4.2.2 Einfluss der Bewässerungsvarianten auf den Tagesverlauf des Blattwasserpotenzials

Der Tagesgang des Blattwasserpotenzials ( $\psi_L$ ) am Standort B3 wurde im Jahr 2004 an sechs und im Jahr 2005 an drei Terminen, an denen Predawn Water Potential Messungen durchgeführt wurden, bestimmt. Bei den Messungen im Jahr 2004 boten nur die zwei Termine am 12.08.2004 und 27.08.2004 die Möglichkeit, den Tagesgang des Wasserpotenzials an einem wolkenlosen Tag zu messen. An allen anderen Terminen herrschte leichte bis starke Bewölkung. Auch die Temperaturen waren an den einzelnen Terminen sehr unterschiedlich. Die ersten beiden Messungen wurden an durchschnittlich warmen Sommertagen (Tagesdurchschnittstemperaturen ca. 22,0° C) durchgeführt. Am 28.07. waren neben der starken Bewölkung auch die Temperaturen mit einem Tagesmaximum von 20,4° C unterdurchschnittlich. Einzig der 12.08. bot neben wolkenlosem Himmel auch hohe Temperaturen, der 27.08. war mäßig warm, und der 09.09. wieder relativ kühl. Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit um 14:00 lag zwischen 44 % an den heißen Tagen und 62 % an den bewölkten, kühleren Tagen.

Die drei Messungen im Jahr 2005 wurden alle an wolkenlosen, warmen bis heißen Tagen durchgeführt. Am 20.06. lag die Tagesdurchschnittstemperatur bei 20,7° C, am 18.07. etwas höher bei 24,3° C. Der eindeutig heißeste Tag war der 29.07. mit durchschnittlich 29° C und einem Temperaturmaximum von 35,6° C. An allen drei Terminen lag die relative Luftfeuchtigkeit um 14:00 Uhr bei ca. 40 %.

Die Tagesgänge im Jahr 2004 sind in Abbildung 9 dargestellt. Bis einschließlich der Messung am 28.07.2004 wurde für die Bestimmung des Blattwasserpotenzials jeweils nur das Blatt gegenüber der ersten (untersten) Traube am Rebtrieb verwendet. Ab dem vierten Termin (12.08.04) wurden auch die Blätter der mittleren Laubwandbereiche gemessen, da durch die Laubglockenbildung die unteren Blätter, sobald die Sonne im Tagesverlauf etwas höher stand, kaum mehr belichtet wurden. Die statistische Auswertung (Tabelle 19) der Messungen am Vormittag, an dem sowohl im unteren als auch im mittleren Laubwandbereich gemessen wurden, zeigten aber, dass der Laubwandbereich, aus dem das Blatt entnommen wurde, keinen Einfluss auf das Blattwasserpotenzial hatte.

Der erste Tagesgang wurde am 01.07.2004, noch vor dem ersten Bewässerungsgang, bestimmt. Daher gab es auch zu diesem Zeitpunkt keine Unterschiede im Wasserpotenzial zwischen den einzelnen Bewässerungsvarianten ( $p = 0,899ns$ ). Das Wasserpotenzial lag vor Sonnenaufgang knapp unter Null und sank im Laufe des Tages bis Mittag langsam aber kontinuierlich auf -0,60 bis -0,70 MPa. Die nächste Messung fand nach dem ersten und knapp vor dem zweiten Bewässerungsgang statt. Da aber an diesem Tag sehr starke Bewölkung herrschte und bis am späten Vormittag das Wasserpotenzial durch die niedrige Sonneneinstrahlung kaum sank, waren keine Unterschiede zwischen den Varianten zu erwarten, und das Wasserpotenzial wurde nur für die betriebsübliche Bewässerung bestimmt. In der Abbildung ist zu erkennen, dass bis ca. 9:00 das Wasserpotenzial sehr hoch bei ca. -0,20 MPa lag, und

erst bei der nächsten Messung um 11:00 auf -0,40 MPa und bis Mittag auf -0,70 MPa fiel. Auch am nächsten Termin am 28.07.04 herrschte starke Bewölkung, zusätzlich war es sehr windig. Das Blattwasserpotenzial lag vor Sonnenaufgang etwas niedriger als beim vorigen Termin, sank aber nur sehr langsam ab, die tiefsten Werte wurden um 9:00 erreicht und lagen in der nicht bewässerten Variante bei ca. -0,65 MPa. Da zu diesem Zeitpunkt bereits drei Bewässerungsgänge stattgefunden hatten, konnten Auswirkungen der verschiedenen Bewässerungsvarianten ausgewertet werden. Obwohl nicht statistisch signifikant ( $p = 0,070_{ns}$ ), lässt sich bereits die Tendenz erkennen, dass das Blattwasserpotenzial der Reben in der nicht bewässerten Variante um ca. 0,10 bis 0,20 MPa unter der normalen und der doppelten Bewässerung lag.

Der 12.08.04 stellt den typischen Tagesgang an einem warmen, sonnigen Tag dar. Von Sonnenaufgang bis 7:00 sank das Blattwasserpotenzial nur geringfügig ab, danach, sobald die Laubwand besonnt war, erreichte das Blattwasserpotenzial bereits um 9:00 Werte zwischen -0,80 MPa und -1,10 MPa. In den besonnten Blattetagen (mittlerer Laubwandbereich) sank dann das Wasserpotenzial bis Mittag weiter auf ca. -1,30 MPa. Auch bei diesem Tagesgang hatte die nicht bewässerte Variante das niedrigste Blattwasserpotenzial, das Ergebnis konnte jedoch weder für die Messungen im basalen noch im mittleren Laubwandbereich statistisch abgesichert werden (Tabelle 19).

Der 27.08. war teilweise bewölkt und etwas kühler als der vorige Termin, wodurch das Wasserpotenzial später und nicht so stark absank wie am 12.08.. Allerdings wurde der Unterschied zwischen der nicht bewässerten Variante und den beiden bewässerten (normal und doppelt) Varianten nach fünf vorangegangenen Bewässerungen signifikant. Beim letzten Termin (09.09.) wurden nur drei Messungen an Blättern im mittleren Laubwandbereich durchgeführt, sie zeigten durch die Sonneneinstrahlung wieder einen stärkeren Abfall des Blattwasserpotenzials im Tagesverlauf. Weiters konnte wieder beobachtet werden, dass die nicht bewässerte Variante die signifikant niedrigsten Werte hatte ( $p = 0,047^*$ ).

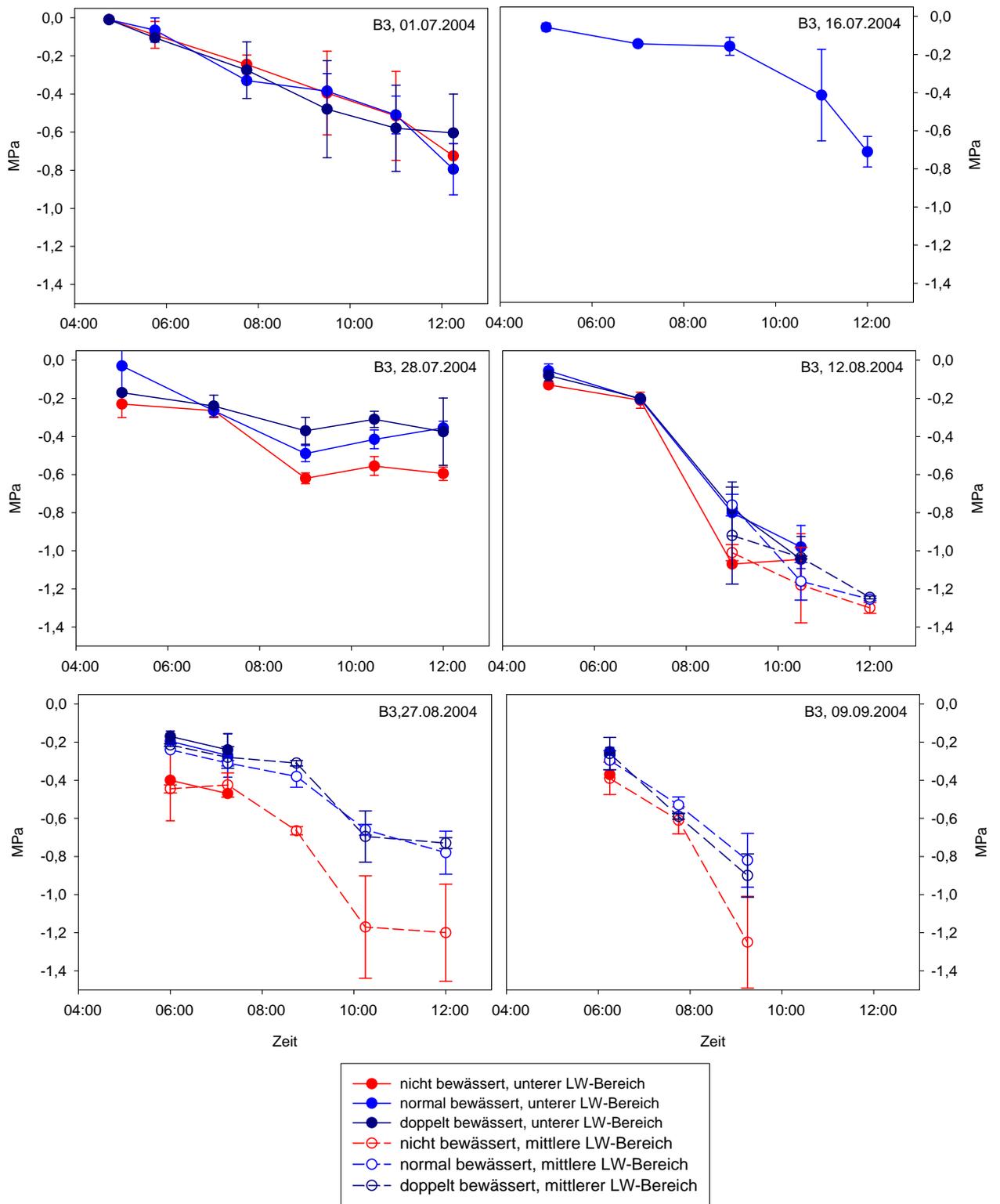


Abbildung 9: Tagesgänge des Blattwasserpotenzials am Standort B3 im Jahr 2004 in Abhängigkeit von der Bewässerung

Tabelle 19: Signifikanzen für die Tagesgänge des Blattwasserpotenzials am Standort B3 am 12.08.2004 und 27.08.2004 in Abhängigkeit von der Bewässerung

Termin	Laubwandbereich	Signifikanz		
		Bewässerung	Laubwandbereich	Wechselwirkung (Bewässerung x Laubwandbereich)
12.08.2004	basal	0,156ns		
	mitte	0,432ns		
	Mittelwert	0,145ns	0,357ns	0,970ns
27.08.2004	basal	0,095ns		
	mitte	0,003**		
	Mittelwert	0,004**	0,418ns	0,795ns

Der Standort B3 stellte einen ausgesprochenen Trockenstandort dar, da er einen sehr seichtgründigen Boden mit geringer Wasserspeicherfähigkeit hatte, bei dem auch in den obersten Bodenschichten der Schotter vorherrschte. Durch die widrigen Bodenverhältnisse, die geringen Niederschläge in der Vegetationsperiode und die betriebsspezifischen Bodenbewirtschaftung und starke Stockbelastung war das Wurzelsystem der Reben eher schlecht ausgebildet. Daher wurden zum Vergleich auch Messungen am Standort B4 durchgeführt, der sich in geringer Entfernung in derselben Riede wie B3 befand und damit dieselben klimatischen Voraussetzungen hatte, aber einen deutlich tiefgründigeren Boden mit weit geringerem Schotteranteil aufwies.

Am 06.08.04 fand eine Vergleichsmessung des Tagesganges des Blattwasserpotenzials in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B4 statt. Da die Reben auf diesem Standort laut Nährstoffanalyse einen starken Kaliummangel im Blatt aufwiesen (Tabelle 20) und auch häufig Mangelsymptome an den Blättern auftraten, wurde zusätzlich zu den drei Bewässerungsvarianten das Blattwasserpotenzial von Blättern mit starken Kaliummangelsymptomen bestimmt.

Die Ergebnisse in Abbildung 10 zeigen, dass das Wasserpotenzial vor Sonnenaufgang bei -0,15 bis -0,20 MPa lag und sich nach Sonnenaufgang bis zur zweiten Messung um 7:00 nur geringfügig änderte. Nach Einsetzen der vollen Besonnung sank das Blattwasserpotenzial bis zur Messung um 9:00 auf ca. -0,50 bis -0,70 MPa. Bei den normal bewässerten Varianten änderte sich das Wasserpotenzial bis Mittag nur mehr geringfügig, bei der nicht bewässerten Variante sank es bis 13:00 auf ca. -1,10 MPa ab. Auffallend ist, dass die Blätter mit Kaliummangelsymptomen um 10:30 und um 13:00 tendenziell das höchste Blattwasserpotenzial aufwiesen. Dieses Ergebnis muss aber in Zusammenhang mit den Messungen des Gaswechsels (Abbildung 13) gesehen werden. So kann man sehen, dass das höhere Wasserpotenzial mit einer geringeren stomatären Leitfähigkeit und geringerer Fotosynthesetätigkeit einhergeht.

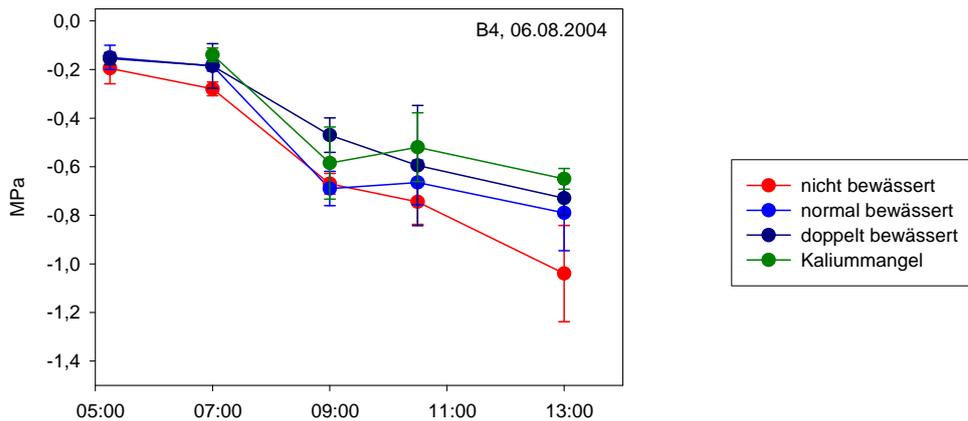


Abbildung 10: Tagesgang des Blattwasserpotenzials am Standort B4 am 06.08.2004 in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten ( $p = 0049^*$ , keine signifikanten Unterschiede bei Mittelwertsvergleich nach SNK)

Tabelle 20: Kaliumgehalt in den Blattspreiten der einzelnen Bewässerungsvarianten an den Standorten B3, B4 und C4 in den Jahren 2004 bis 2006 (symptomfreie Blätter)

Termin	Standort	Jahr	Blattkaliumgehalt (%TS)		
			ohne Bewässerung	normale Bewässerung	doppelte Bewässerung
Blüte	B3	2004	0,97	1,04	0,99
		2005	1,01	1,09	1,05
		2006	1,02	0,95	0,96
	B4	2004	0,91	0,46	0,46
		2005	0,82	0,52	0,67
		2006	0,56	0,64	0,66
	C4	2004	0,58	0,62	
		2005	0,60	0,75	
		2006	0,33	0,84	
Reifebeginn	B3	2004	0,65	0,69	0,78
		2005	0,69	0,59	0,83
		2006	0,60	0,68	0,62
	B4	2004	0,29	0,45	0,46
		2005	0,63	0,33	0,42
		2006	0,43	0,46	0,53
	C4	2004	0,45	0,61	
		2005	0,31	0,30	
		2006	0,49	0,41	

Im Jahr 2005 fanden am Standort B3 nur zwei Bewässerungsgänge statt. Der erste war am 18. und 19. Juni kurz vor der ersten Messung, der zweite am 1. und 2. August, nach der letzten Messung. Somit konnten bei allen drei Messungen des Blattwasserpotenzials nur die Wirkung eines Bewässerungsganges ausgewertet werden. Die Messungen des Tagesganges des Blattwasserpotenzials im Jahr 2005 zeigen durchwegs typische Tagesgänge für sonnige und heiße Tage.

Am 20.06. fiel das Blattwasserpotenzial von Sonnenaufgang bis Mittag kontinuierlich auf -0,80 bis -1,00 MPa, da die Reben bei warmer Witterung und wolkenlosem Himmel eine hohe Fotosyntheseleistung zeigten (Abbildung 14) und die Stomata bei ausreichender Wasserversorgung bis Mittag geöffnet blieben (Abbildung 15). Obwohl kurz vor der Messung ein Bewässerungsgang stattgefunden hatte, bestand zwischen den Varianten kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,051ns$ ). Tendenziell lag  $\psi_L$  der nicht bewässerten Variante bis Mittag niedriger als bei den bewässerten.

Am 18.07. waren die Temperaturen höher als am 20.06 und die Kurve des Blattwasserpotenzials zeigte daher einen steileren Abfall nach Sonnenaufgang auf einen Tiefstwert von -1,10 MPa um 12:00. Auch an diesem Termin bestanden keine Unterschiede zwischen den Bewässerungsvarianten ( $p = 0,143ns$ ).

Der 29.07. war der heißeste der drei Messtage mit dem größten Dampfdruckdefizit. Daher fiel das Blattwasserpotenzial nach Sonnenaufgang sehr schnell und erreichte in allen Varianten um 12:00 -1,50 MPa. Die Bewässerungsvarianten hatten wie bei den vorigen Terminen keinen signifikanten Einfluss auf den Verlauf des Wasserpotenzials ( $p = 0,922ns$ ),

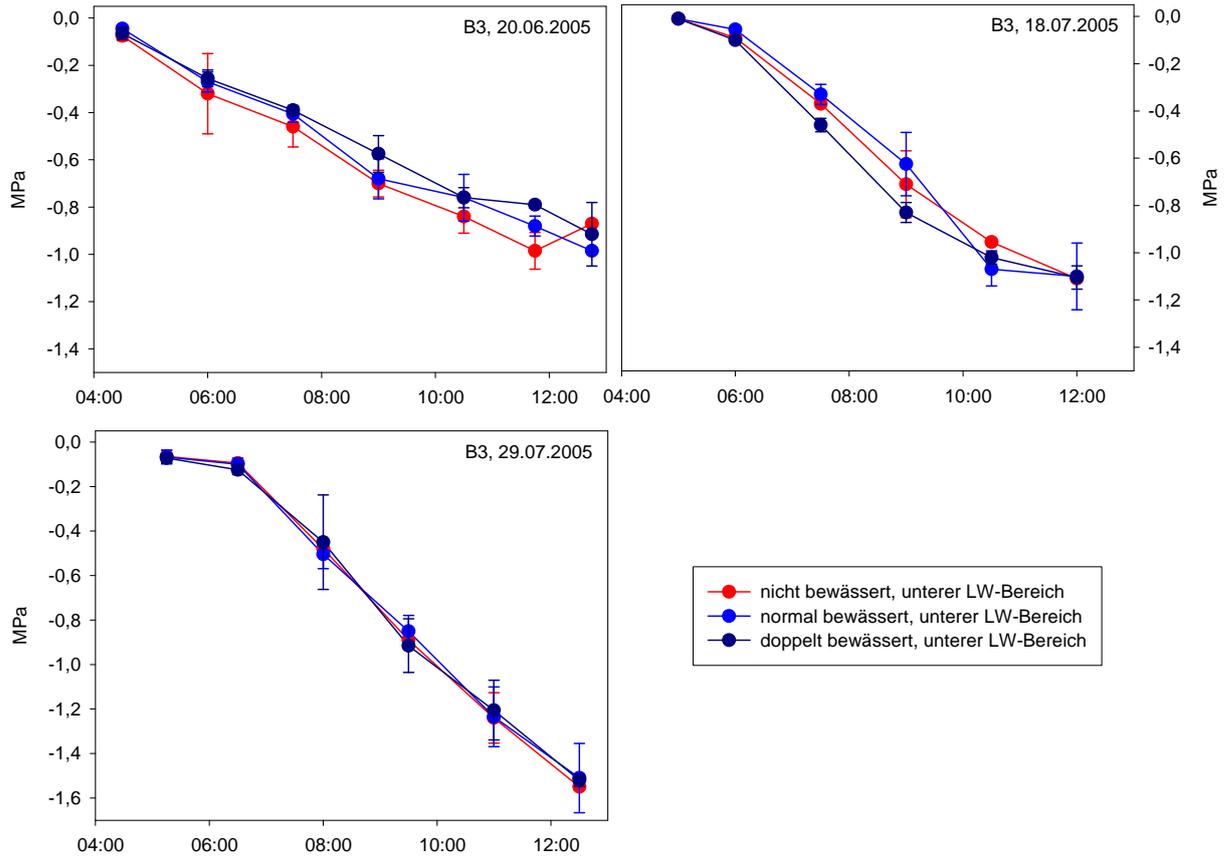


Abbildung 11: Tagesgänge des Blattwasserpotenzials am Standort B3 im Jahr 2005 in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten

## 4.2.3 Einfluss der Bewässerung auf den Gaswechsel der Reben

### 4.2.3.1 Gaswechsel im Tagesverlauf

Im Jahr 2004 konnte am Standort B3 nur an einem Termin (12.08.) bei natürlicher gleich bleibender Sonnenstrahlung die Fotosyntheseleistung im Tagesverlauf gemessen werden (Abbildung 12). Das Predawn Water Potential lag am diesem Tag zwischen -0,07 MPa bei Bewässerung und -0,12 MPa in der nicht bewässerten Variante. Wie die Wasserpotenzialmessungen im Tagesverlauf zeigten (Abbildung 9), sank an diesem Tag das Blattwasserpotenzial der besonnten Laubwand rasch ab, wobei die nicht bewässerte Variante tendenziell die niedrigsten Werte erreichte. Wie bei den Blattwasserpotenzialmessungen wurde auch der Gaswechsel ab der dritten Tagesmessung (8:30 Uhr) bis Mittag nicht nur an den Blättern der Traubenzone sondern auch im mittleren Laubwandbereich durchgeführt, da die untersten Blattetagen durch die Laubglockenbildung im Tagesverlauf zunehmend beschattet wurden. Anders als beim Blattwasserpotenzial, wo der Laubwandbereich, aus dem die Blätter entnommen wurden, keinen Einfluss auf das Ergebnis hatte, wiesen die Werte der Fotosynthesemessung um 10:00 Uhr darauf hin, dass die Blätter des unteren Laubwandbereiches eine niedrigere Fotosyntheseleistung hatten als die Blätter aus dem mittleren Laubwandbereich (Tabelle 21).

Die Fotosyntheseleistung am 12.08.04 lag kurz nach Sonnenaufgang, zu einem Zeitpunkt, an dem die Blätter der Traubenzone durch die Beschattung der nächsten Rebzeile noch nicht direkt besonnt waren, sehr niedrig bei  $3,00 - 4,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Ungefähr 1,5 Stunden nach Sonnenaufgang war die gesamte Laubwand in der Weitraumanlage voll besonnt, und die Fotosyntheseleistung stieg folglich rasch an. Bei der normal und doppelt bewässerten Variante erreichte die Fotosyntheseleistung um 10:00 Uhr  $16,00 - 18,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , die nicht bewässerte Variante hatte zu diesem Zeitpunkt bereits eine signifikant niedrigere Fotosyntheserate, sie lag bei ca.  $15,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  für die Blätter der mittleren Laubwandzone und bei nur  $9,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  für die basalen Blätter. Bei der letzten Messung um 11:30 war bei allen Varianten ein Rückgang der Fotosyntheseleistung zu beobachten, der mit einer sinkenden stomatären Leitfähigkeit einherging. Das beginnende Schließen der Stomata war vermutlich eine Reaktion auf das sinkende Blattwasserpotenzial, das zu Mittag bei ca. -1,30 MPa lag.

Die stomatäre Leitfähigkeit ( $g_s$ ) zeigte tendenziell einen ähnlichen Verlauf wie die Fotosyntheseleistung. Bei den bewässerten Varianten stieg sie bis zur Messung um 10:00 an und ging dann wieder zurück. Bei der nicht bewässerten Variante war bereits um 8:30 der höchste Öffnungsgrad der Spaltöffnungen erreicht, danach verringerte sich die stomatäre Leitfähigkeit im mittleren Laubwandbereich leicht, und bei den basalen Blättern stark. Bei der Messung um 10:00 zeigte sich, dass die Blätter des mittleren Laubwandbereichs eine signifikant höhere stomatäre Leitfähigkeit hatten als die basalen Blätter. Auch zwischen den Versuchsvarianten bestanden signifikante Unterschiede: Die nicht bewässerte Variante hatte eine geringere stomatäre Leitfähigkeit als die beiden bewässerten, die sich nicht voneinander unterschieden. Gleichzeitig mit der geringeren Leitfähigkeit war auch das

Blattwasserpotenzial in der unbewässerten Variante niedriger als bei den bewässerten Reben (Abbildung 9).

Die Water Use Efficiency (WUE) zeigt einen anderen Verlauf als A und gs. Bei der ersten Messung nach Sonnenaufgang lagen die Werte relativ hoch zwischen 4,0 und 5,5. Die höchsten WUE-Werte wurden bei der zweiten Messung erzielt, als die Blätter voll besonnt waren und daher eine hohe Fotosyntheseleistung zeigten, zugleich aber die Temperaturen noch niedrig und die relative Luftfeuchte hoch waren, sodass relativ wenig Transpiration stattfand. Danach sank die WUE auf ca. die Hälfte ab, obwohl die Fotosyntheseleistung im Mittel der Varianten anstieg, was auf eine starke Erhöhung der Transpiration schließen lässt. Bis zur letzten Messung um 11:30 veränderte sich die WUE kaum, sie sank nur leicht ab. Die Werte für die WUE liegen bei allen Varianten eng beieinander, dennoch zeigte es sich, dass bei der Messung um 10:00 die nicht bewässerte Variante die höchste WUE aufwies.

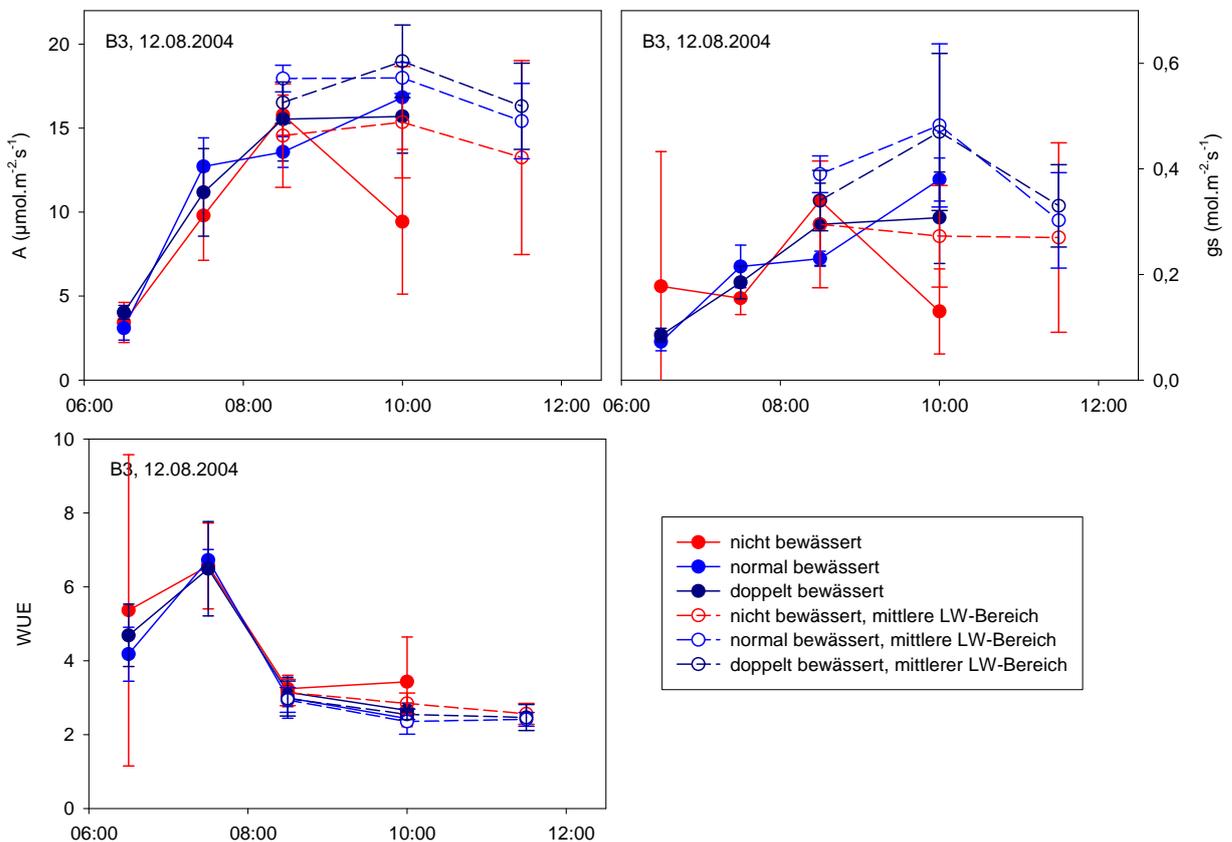


Abbildung 12: Tagesgang des Gaswechsels (Photosynthese A, stomatäre Leitfähigkeit gs, und Water Use Efficiency WUE) am 12.08.2004 am Standort B3

Tabelle 21: Statistik Tagesgang des Gaswechsels (Photosynthese A, stomatäre Leitfähigkeit  $g_s$  und Water use efficiency WUE) am 12.08.2004 am Standort B3

Parameter	Zeit	LW-Bereich	Bewässerungsvariante			Signifikanz	
			Nicht bewässert	Normal bewässert	Doppelt bewässert	Variante	LW-Bereich
A ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	06:30	basal	3,43	3,08	4,03	0,319ns	
	07:30	basal	9,79	12,71	11,18	0,269ns	
	08:30	basal+mitte	14,96	16,49	16,19	0,755ns	0,172ns
	10:00	basal+mitte	12,39a	17,41b	17,34b	0,001**	0,005*
	11:30	mitte	13,25	15,42	16,31	0,540ns	
$g_s$ ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	06:30	basal	0,18	0,07	0,09	0,569ns	
	07:30	basal	0,16	0,22	0,19	0,099ns	
	08:30	basal+mitte	0,31	0,34	0,33	0,982ns	0,176ns
	10:00	basal+mitte	0,20a	0,43b	0,39b	0,001**	0,007*
	11:30	mitte	0,27	0,30	0,33	0,797ns	
WUE	06:30	basal	5,36	4,17	4,68	0,804ns	
	07:30	basal	6,56	6,72	6,49	0,057ns	
	08:30	basal+mitte	3,17	2,95	3,03	0,671ns	0,591ns
	10:00	basal+mitte	3,13b	2,39a	2,60ab	0,037*	0,256ns
	11:30	mitte	2,56	2,41	2,46	0,756ns	

Am nahe gelegenen Standort B4, der einen tiefgründigeren Boden und deutlich wüchsigeren Reben hatte als der Trockenstandort B3, wurden am 06.08.04 vergleichend Tagesgänge des Blattwasserpotenzials und des Gaswechsels gemessen (Abbildung 13). Entsprechend der Messung des Blattwasserpotenzials (Abbildung 10) wurden neben den drei Bewässerungsvarianten auch Blätter mit starken Kaliumblattmangelsymptomen untersucht.

Die Gaswechsellmessungen wurden in der Anlage B4, die annähernd N-S ausgerichtet war, bis einschließlich 12:00 auf der Ostseite der Laubwand durchgeführt. Die letzte Messung um 12:45 erfolgte auf der Westseite, da durch die bereits hoch stehende Sonne die basalen Blätter der unteren Laubwandzone auf der Ostseite nur mehr schlecht besonnt waren.

Der Tagesverlauf (Abbildung 13, Tabelle 22) zeigt eine ähnliche Charakteristik wie am Standort B3. Kurz nach Sonnenaufgang war die Fotosyntheseleistung bei allen Varianten gleich niedrig. Danach stieg die Fotosyntheseleistung an, der Anstieg war allerdings langsamer als bei der vergleichbaren Messung am Standort B3, da leichte Bewölkung herrschte und daher kein maximales Lichtangebot vorhanden war. Erst um 10:00 wurden hohe Werte für die Fotosyntheseleistung erzielt. Bei der nicht bewässerten Variante war wie am Standort B3 bereits um 10:00 der Maximalwert für die Fotosyntheseleistung erreicht, bei den beiden bewässerten Varianten stieg die Fotosyntheseleistung danach noch leicht an und erreichte zwischen 11:00 und 12:00 das höchste Niveau. Bei den bewässerten Varianten wurden sehr hohe Werte für die Fotosyntheseleistung erzielt, die über 20,0

$\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  und damit auch höher als am Trockenstandort B3 bei der Vergleichsmessung lagen. Die hohe Fotosyntheseleistung stimmt mit den Messergebnissen der stomatären Leitfähigkeit, die für die beiden bewässerten Variante durchwegs hohe Werte aufweist, überein. Zwischen den Varianten bestanden bei den Messungen um 10:00, um 12:00 und um 12:45 signifikante Unterschiede. Die niedrigste Fotosyntheserate hatten Blätter mit Kaliummangelsymptomen, gefolgt von den Blättern nicht bewässerter Reben, die beiden bewässerten Varianten hatten die höchste Fotosyntheserate und zeigten einen ähnlichen Kurvenverlauf.

Bei der stomatären Leitfähigkeit ist der Unterschied zwischen nicht bewässerten Blättern und Blättern mit Kaliummangel und den normal und doppelt bewässerten Blättern noch deutlicher. Der Verlauf zeigt, dass die stomatäre Leitfähigkeit bei allen Varianten bis 11:00 zunahm, zu diesem Zeitpunkt wurden hohe Werte zwischen  $0,35 - 0,40 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Kaliummangel und nicht bewässert) und  $0,58 - 0,62 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (normal und doppelt bewässert) erzielt. Nach 11:00 Uhr sank die stomatäre Leitfähigkeit bis 12:00 Uhr bei Blättern ohne Bewässerung und Blättern mit Kaliummangel stark, bei den bewässerten Varianten leicht ab. Bei den beiden bewässerten Varianten sank die stomatäre Leitfähigkeit auch bis zum letzten Messzeitpunkt um 12:45 Uhr weiter ab, während bei den anderen beiden wieder etwas höhere Werte erzielt wurden. Es scheint, dass durch den Wechsel vor der letzten Messung von der Ostseite (die vom Morgen weg besonnt gewesen war) auf die Westseite nun Blätter gemessen wurden, die noch nicht so gestresst waren wie die der Ostseite, und daher wieder eine höhere Gaswechseltätigkeit aufwiesen. Interessant ist, dass dieser Effekt nur bei den Varianten nicht bewässert und Kaliummangel auftrat, während bei den bewässerten Varianten durch die ausreichende Wasserversorgung die Blätter auf beiden Seiten der Laubwand die gleiche Fotosyntheseleistung erbrachten.

Der Verlauf der WUE zeigt wie am Standort B3 den höchsten Wert bei der zweiten Messung morgens um 07:30 Uhr, sobald die Laubwand besonnt wurde, danach sank die Water Use Efficiency langsam ab. Unterschiede zwischen den Varianten bestanden nur um 10:00 Uhr, wo die Blätter mit Kaliummangel eine niedrigere WUE hatten als die gesunden Blätter. Tendenziell liegen aber die Blätter mit Kaliummangel im gesamten Tagesverlauf niedriger als die gesunden Varianten. Der Vergleich mit den Messungen am Standort B3 zeigt, dass die WUE bei den Messungen am Standort B4 am Nachmittag nicht so stark absank wie am Standort B3.

Zusammenfassend zeigt der Vergleich der Tagesgänge der Gaswechselleistung, dass am Standort B4 höhere Fotosyntheseleistung, stomatäre Leitfähigkeit und WUE gemessen wurden als am schotterreichen Standort B3, obwohl hier erst viel später (Anfang August) bewässert wurde. Dies könnte einerseits auf eine bessere Wasserversorgung durch den tiefgründigeren Boden oder ein besser ausgebildetes Wurzelsystem hinweisen, andererseits auch auf Unterschiede in der Gaswechselleistung durch eine höhere Vitalität der Stöcke am Standort B4.

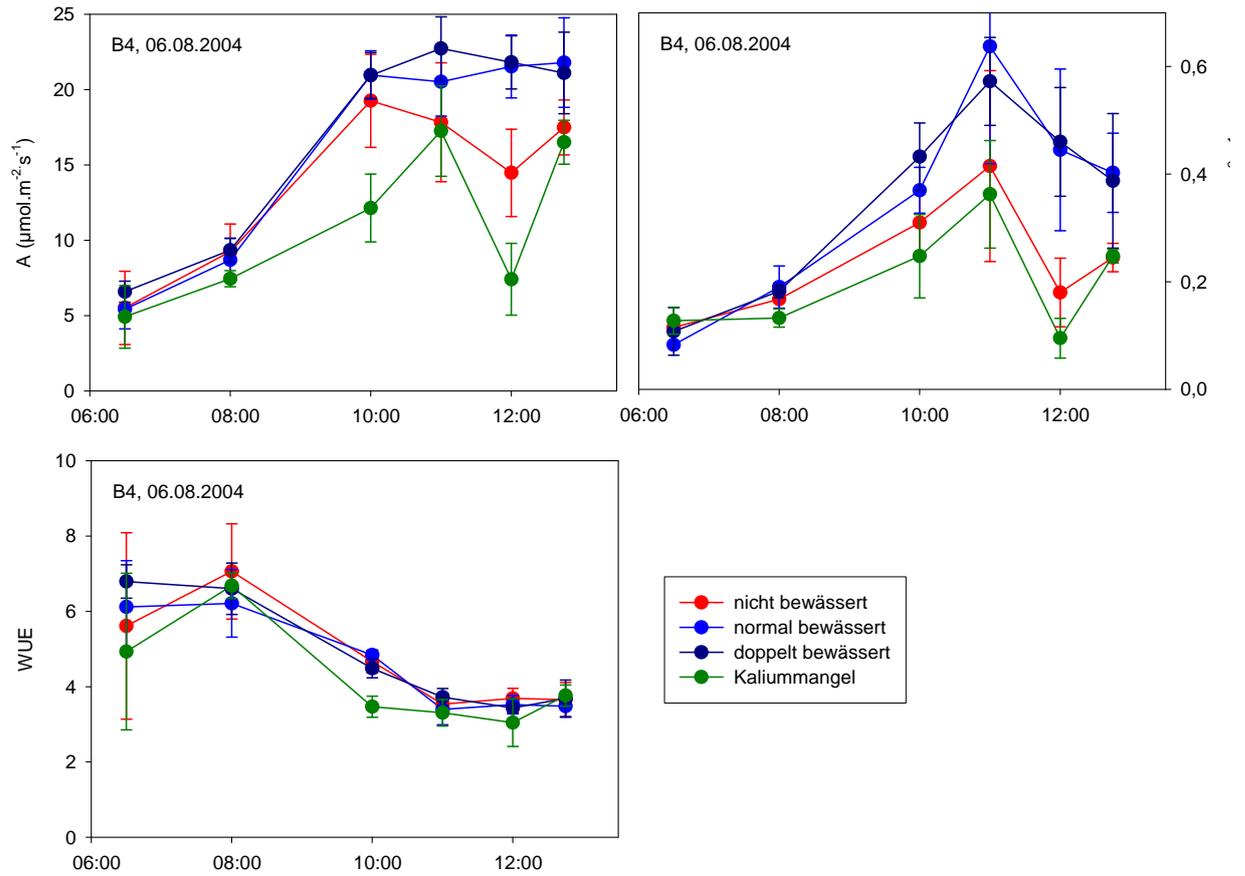


Abbildung 13: Tagesgang des Gaswechsels (Photosynthese A, stomatäre Leitfähigkeit  $g_s$ , und Water Use Efficiency WUE) am 06.08.2004 am Standort B4

Tabelle 22: Statistik Tagesgang des Gaswechsels (Photosynthese A, stomatäre Leitfähigkeit gs und Water Use Efficiency WUE) am 06.08.2004 am Standort B4

Parameter	Zeit	Nicht bewässert	Normal Bewässert	Doppelt Bewässert	Kaliummangel normal bewässert	Signifikanz Variante
A ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	06:30	5,51	5,42	6,59	4,91	0,711ns
	08:00	9,24	8,69	9,34	7,44	0,299ns
	10:00	19,25b	20,97b	20,94b	12,13a	0,001**
	11:00	17,83	20,53	22,73	17,25	0,158ns
	12:00	14,48b	21,53c	21,81c	7,41a	0,000***
	12:45	17,48ab	21,79b	21,10ab	16,50a	0,027*
gs ( $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	06:30	0,12b	0,09a	0,11b	0,13b	0,002**
	08:00	0,17	0,19	0,18	0,13	0,109ns
	10:00	0,31ab	0,37ab	0,43b	0,25a	0,022*
	11:00	0,42	0,64	0,57	0,36	0,111ns
	12:00	0,18a	0,45b	0,46b	0,10a	0,000***
	12:45	0,25	0,40	0,39	0,25	0,063ns
WUE	06:30	5,61	6,12	6,79	4,93	0,616ns
	08:00	7,06	6,21	5,60	6,68	0,668ns
	10:00	4,67b	4,84b	4,49b	3,47a	0,001**
	11:00	3,53	3,40	3,72	3,31	0,180ns
	12:00	3,69	3,52	3,43	3,04	0,253ns
	12:45	3,66	3,48	3,69	3,76	0,652ns

Im Jahr 2005 wurden am Standort B3 an drei Terminen (20.06.05, 18.07.05 und 29.07.05) Gaswechsellmessungen im Tagesverlauf durchgeführt. Alle drei Termine waren, wie bei den Wasserpotenzialmessungen beschrieben, sonnige, warme bis sehr heiße Tage. Die Ergebnisse der Gaswechsellmessungen sind in den Abbildungen 14 bis 16 und in den Tabellen 23 bis 25 dargestellt. Grundsätzlich ist zu erkennen, dass im Gegensatz zu der Messung im Jahr 2004 die Kurven viel flacher verlaufen. Bereits bei der ersten Messung wurden hohe Fotosyntheseleistungen erzielt, und es kam kaum noch zu einer Steigerung im Tagesverlauf.

Am 20.06 waren die Blätter der Traubenzone bei der ersten Messung um 06:45 Uhr bereits gut besonnt. Ungefähr 1,5 Stunden nach Sonnenaufgang um 04:57 lag die mittlere Lichtintensität in der Traubenzone bei ca.  $700 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  und die mittlere Blatttemperatur erreichte  $24 \text{ }^\circ\text{C}$ . Die Fotosyntheseleistung betrug hier im Mittel ca.  $15,0$  bis  $17,0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Im weiteren Tagesverlauf kam es kaum mehr zu einer Zunahme der Fotosyntheseleistung. Sie stieg auf maximal  $16,0$  bis  $17,5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , sodass die Kurve von Morgen bis Mittag flach verlief, es war aber auch bei keiner Variante ein starker Einbruch zu beobachten. Der flache Kurvenverlauf und das Fehlen einer Reduktion zu Mittag spricht einerseits für eine gute Wasserversorgung und stimmt auch mit dem Gang des Blattwasserpotenzials überein (Abbildung 11), das nur einen langsamen Abfall bis maximal  $-1,10 \text{ MPa}$  zu Mittag zeigte. Andererseits sind aber auch die Maximalwerte der Fotosyntheseleistung zu Mittag nicht sehr hoch, was auf Temperatur- oder Lichtstress hindeuten könnte, der einen weiteren Anstieg der Fotosyntheseleistung im Tagesverlauf verhinderte.

Obwohl der erste Bewässerungsgang am Standort B3 erst zwei Tage zuvor stattgefunden hatte, waren kaum Unterschiede zwischen den Varianten zu erkennen. Bei den Messungen um 06:45 und um 09:45 konnten signifikante Unterschiede zwischen der nicht bewässerten Variante und der normal bewässerten errechnet werden, die doppelt bewässerte Variante unterschied sich statistisch nicht von den beiden. Die Fotosyntheseleistung der nicht bewässerten Reben lag bei beiden Terminen ca.  $1,50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  unter jenen der bewässerten. Im Vergleich zu den Schwankungen zwischen den Varianten im Tagesverlauf sieht man aber, dass diese Unterschiede nicht sehr groß sind, da eine Schwankungsbreite von ca.  $1,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  mehrmals auftrat.

Auch ca. einen Monat später, am 18.07., war auf dem Standort B3 bei der ersten Messung um 7:00 die Laubwand voll besonnt, sodass die Werte für die Fotosyntheserate bereits relativ hoch waren. Die höchste Fotosyntheserate wurde am Vormittag um 08:30 und um 10:00 erzielt. Die Werte entsprachen ca. jenen des ersten Messtermins am 20.06. Bei der letzten Messung am 18.07. zu Mittag war die Fotosyntheseleistung wieder etwas niedriger. Trotz des leichten Rückganges der Fotosyntheseleistung zu Mittag bestand während dieses Tages kein Wasserstress, da die natürliche Wasserversorgung im Boden durch Niederschläge im Juli gut war. Dies zeigte auch das Predawn Water Potential (Tabelle 17), das nahe bei Null lag. Ein weiterer Hinweis auf ausreichende Wasserversorgung waren die stomatare Leitfähigkeit, die zwischen 8:30 und 11:30 gleich hoch blieb, und im Mittel sogar etwas

über den Werten des 20.06. lag, und das Blattwasserpotenzial, das im Tagesverlauf nicht unter -1,10 MPa fiel.

Da es in der ersten Julihälfte ausreichend natürliche Niederschläge gegeben hatte, bestand auch in der unbewässerten Variante kein Wasserstress und es gab somit keine Unterschiede in der Fotosyntheseleistung zwischen den Bewässerungsvarianten.

Bei der Messung Ende Juli (29.07.) lag die Fotosyntheserate etwas niedriger als bei den ersten beiden. Das Maximum von  $15,0 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  wurde am Vormittag erreicht, zu Mittag war bereits wieder ein Rückgang zu beobachten. Auch das Predawn Water Potential (Tabelle 17) lag mit -0,07 MPa etwas niedriger als am 18.07., da es in der zweiten Julihälfte kaum Niederschläge gegeben hatte. Dies weist darauf hin, dass neben der extrem heißen und trockenen Witterung an diesem Tag auch ein beginnender Wasserstress durch die geringere Bodenfeuchte für die Reduktion der Fotosyntheseleistung verantwortlich war. Auch der Rückgang der stomatären Leitfähigkeit zu Mittag deutet auf Wasserknappheit hin. Da aber die Wasserversorgung dennoch so hoch war, dass die Spaltöffnungen offen blieben, und an diesem Tag große Hitze und Trockenheit herrschten, sank das Blattwasserpotenzial zu Mittag auf -1,60 MPa ab.

Die statistische Berechnung zeigte zu zwei Tageszeiten Unterschiede zwischen den Varianten. Ein einheitlicher Trend ist nicht abzulesen. Da der Bewässerungsgang bereits über einen Monat zurücklag, und auch keine Unterschiede zwischen den Varianten im Blattwasserpotenzial (Abbildung 11) bestanden, sind die Unterschiede in der Fotosyntheseleistung eventuell auf Inhomogenitäten in der Anlage, und nicht auf die Bewässerungsvarianten zurückzuführen.

Die Auswertung der stomatären Leitfähigkeit (Abbildung 15) zeigt, dass im Jahr 2005 bei allen Tagesgängen auf dem Standort B3 Ähnlichkeiten zum Verlauf der Fotosyntheseleistung bestehen. Am ersten Termin (20.06.) verläuft die Kurve der stomatären Leitfähigkeit wie bei der Fotosyntheseleistung sehr flach, sie beträgt im Durchschnitt  $0,20 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Am zweiten Termin lag sie in der Früh noch etwas niedriger bei ca.  $0,13 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  und stieg dann auf  $0,25 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Beim letzten Termin war die stomatäre Leitfähigkeit in der Früh niedrig, stieg am Vormittag auf über  $0,20 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  und sank zu Mittag wieder ab. Dieses Absinken der stomatären Leitfähigkeit erfolgte zu einem Zeitpunkt, an dem das Blattwasserpotenzial bereits -1,50 MPa (Abbildung 11) betrug und ging mit einer Reduktion in der Fotosyntheseleistung einher.

Die Auswertung der WUE (Abbildung 16) zeigte, dass an sonnigen Tagen die höchste WUE durchwegs vor 08:00 erzielt wurde und dann stark absank. Das bedeutet, dass in den Morgenstunden, sobald die Blätter voll besonnt sind, gemessen am Wasserverbrauch, das meiste  $\text{CO}_2$  assimiliert wird.

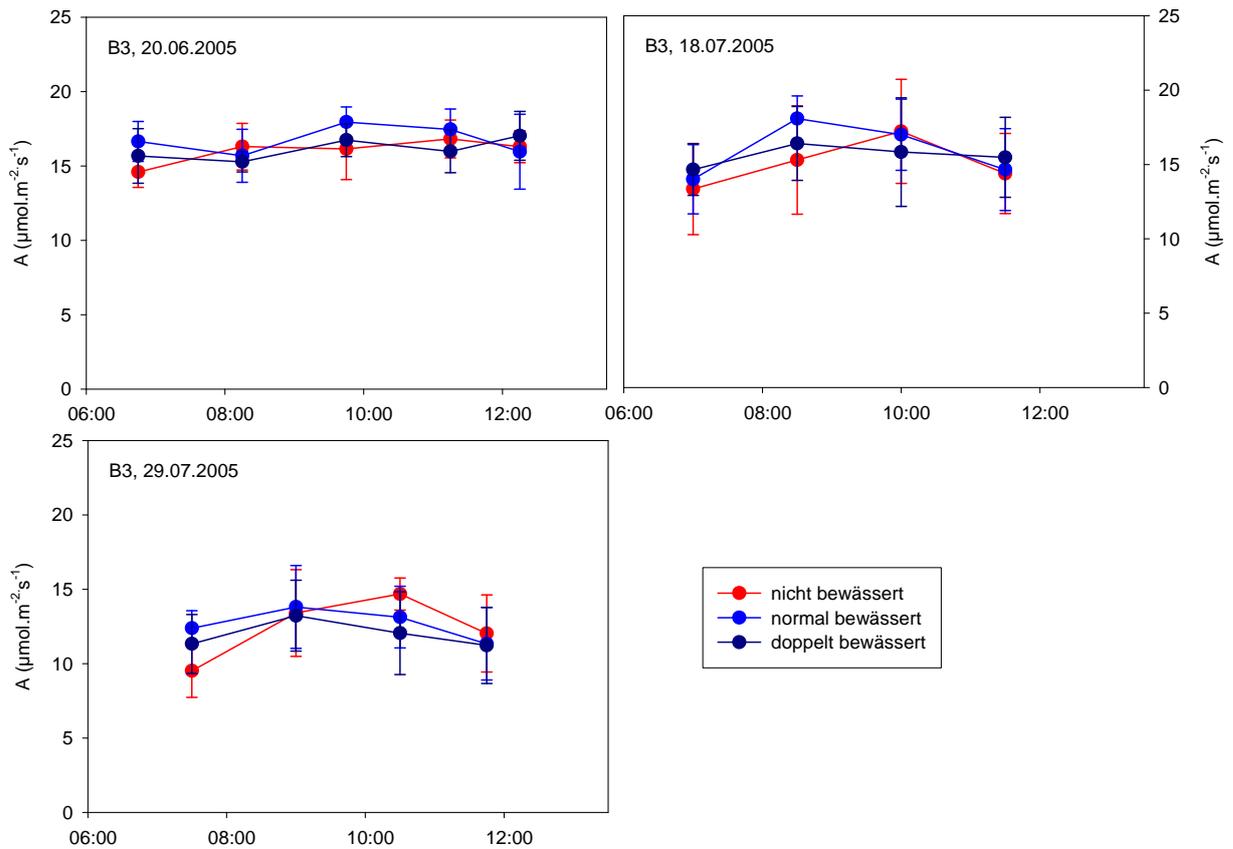


Abbildung 14: Tagesgänge der Fotosynthese (A) im Jahr 2005 am Standort B3

Tabelle 23: Statistik Tagesgänge der Fotosynthese (A) im Jahr 2005 am Standort B3

Fotosynthese ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )					
Datum	Zeit	Nicht bewässert	Normal bewässert	Doppelt bewässert	Signifikanz Variante
20.06.2005	06:45	14,59a	16,45b	15,67ab	0,005**
	08:15	16,30	15,68	15,27	0,303ns
	09:45	16,14a	17,95b	16,73ab	0,021*
	11:15	16,81	17,46	15,98	0,062ns
	12:15	16,29	15,96	17,03	0,451ns
18.07.2005	07:00	13,34	14,00	15,72	0,493ns
	08:30	15,30	18,08	16,41	0,082ns
	10:00	17,23	16,99	15,83	0,382ns
	11:30	14,39	14,65	15,47	0,676ns
29.07.2005	07:30	9,52a	12,38b	11,33b	0,003**
	09:00	13,41	13,81	31,23	0,879ns
	10:30	14,68b	13,12ab	12,05a	0,034*
	11:45	12,03	11,33	11,23	0,756ns

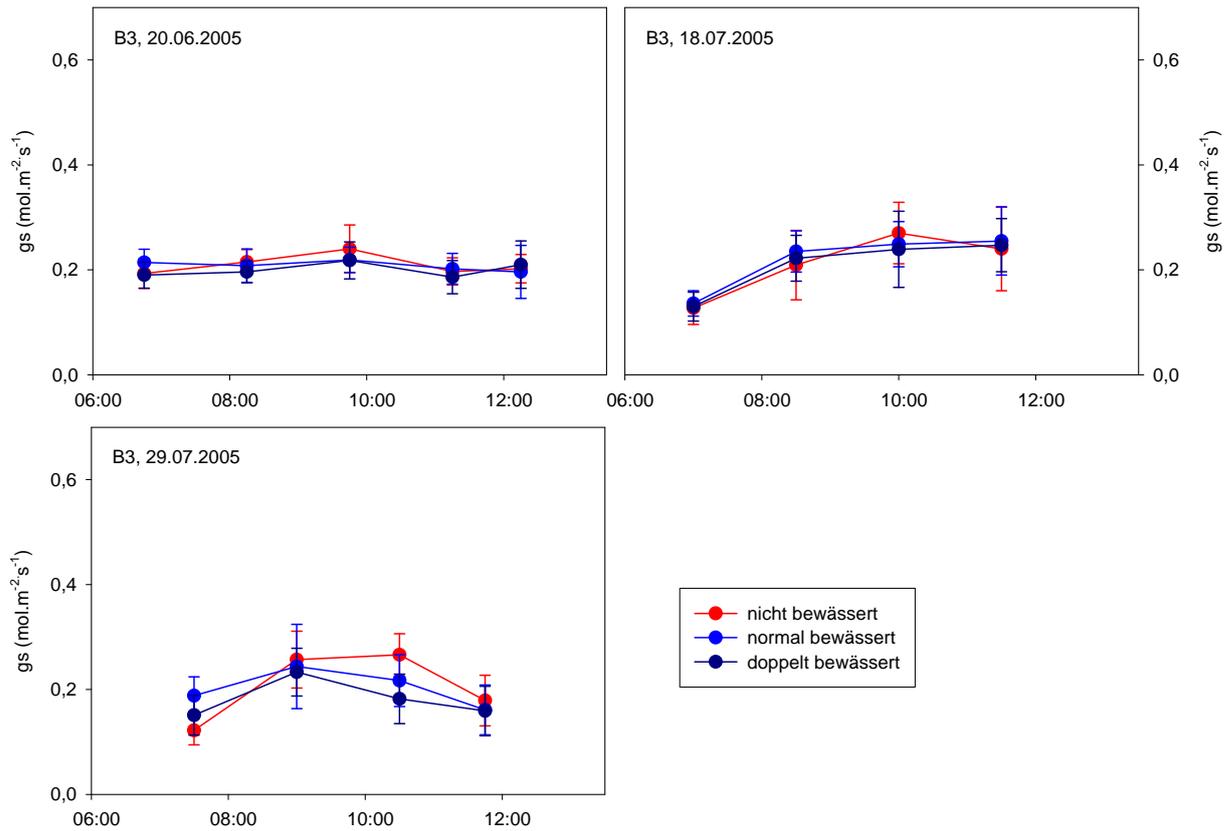


Abbildung 15: Tagesgänge der stomatären Leitfähigkeit (gs) im Jahr 2005 am Standort B3

Tabelle 24: Statistik Tagesgänge der stomatären Leitfähigkeit (gs) im Jahr 2005 am Standort B3

Datum	Zeit	Stomatäre Leitfähigkeit (mol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )			Signifikanz Variante
		Nicht bewässert	Normal bewässert	Doppelt bewässert	
20.06.2005	06:45	0,19	0,21	0,19	0,074ns
	08:15	0,22	0,21	0,20	0,260ns
	09:45	0,24	0,22	0,22	0,105ns
	11:15	0,20	0,20	0,19	0,391ns
	12:15	0,20	0,20	0,21	0,704ns
18.07.2005	07:00	0,13	0,14	0,13	0,755ns
	08:30	0,21	0,24	0,22	0,502ns
	10:00	0,27	0,25	0,24	0,342ns
	11:30	0,24	0,26	0,25	0,879ns
29.07.2005	07:30	0,12a	0,19b	0,15a	0,001**
	09:00	0,26	0,24	0,23	0,680ns
	10:30	0,27b	0,22a	0,18a	0,002**
	11:45	0,18	0,16	0,16	0,600ns

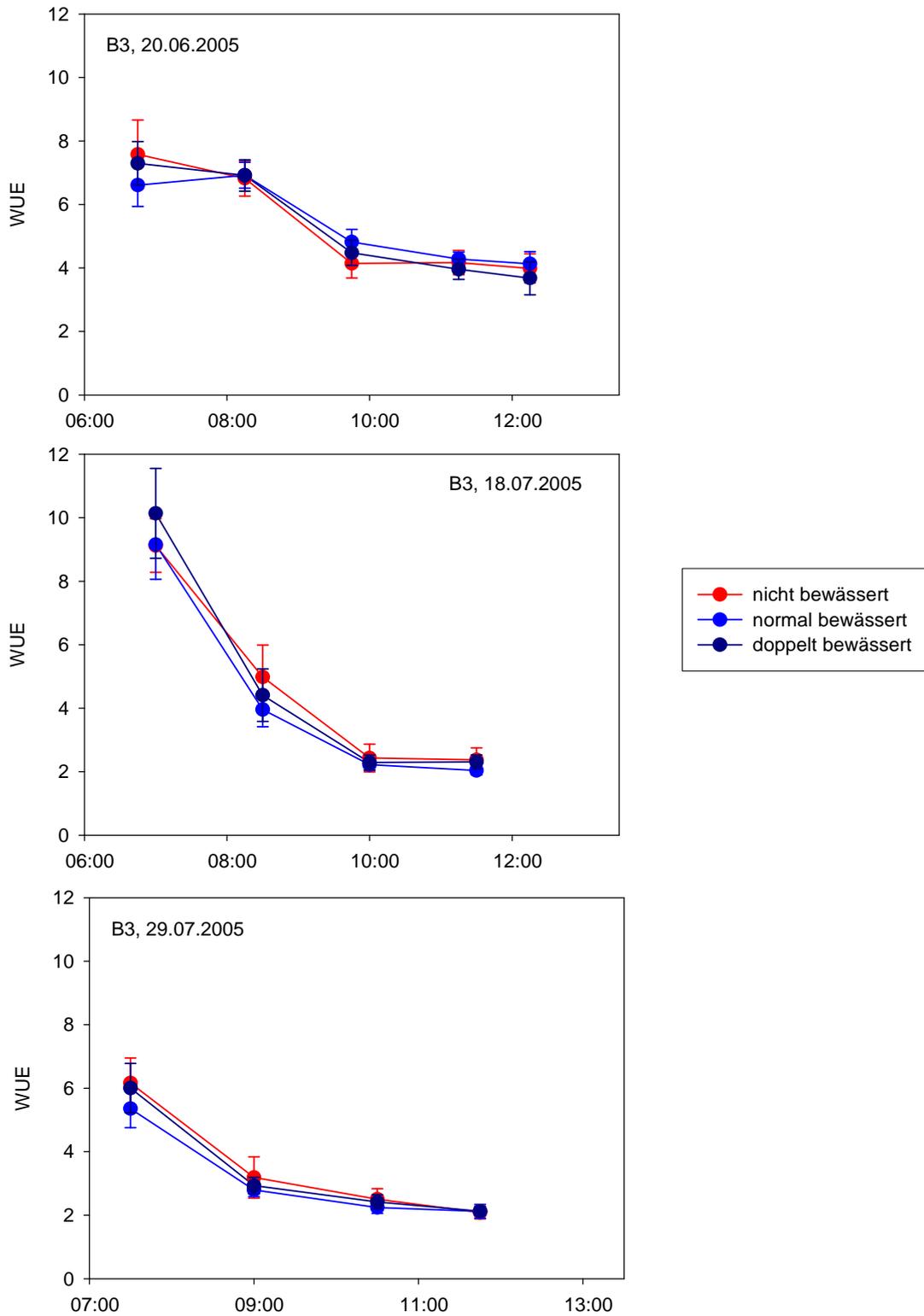


Abbildung 16: Tagesgänge der Water use efficiency, WUE im Jahr 2005 am Standort B3

Tabelle 25: Statistik Tagesgang des der Water use efficiency, WUE 2005 am Standort B3

Datum	Zeit	WUE			Signifikanz Variante
		Nicht bewässert	Normal bewässert	Doppelt bewässert	
20.06.2005	06:45	7,58b	6,61a	7,30b	0,005**
	08:15	6,82	6,92	6,91	0,872ns
	09:45	4,14a	4,82c	4,48b	0,000***
	11:15	4,17	4,28	3,96	0,056ns
	12:15	3,99ab	4,13b	3,68a	0,024*
18.07.2005	07:00	9,12	9,16	10,14	0,120ns
	08:30	4,98c	3,96a	4,41b	0,000***
	10:00	2,43	2,22	2,29	0,092ns
	11:30	2,37b	2,04a	2,31b	0,004**
29.07.2005	07:30	6,16b	5,36a	6,00ab	0,043*
	09:00	3,19	2,79	2,93	0,111ns
	10:30	2,50	2,24	2,41	0,042ns
	11:45	2,09	2,12	2,12	0,877ns

Ähnlich wie 2004 wurde am 28.06.05 eine Vergleichsmessung des Gaswechsels an den beiden Standorten in Andau (B3 und B4) durchgeführt. Es wurde jedoch nicht wie 2004 ein ganzer Tagesgang bestimmt, sondern exemplarisch an einem Nachmittag eines heißen Sommertages der Gaswechsel an beiden Standorten unmittelbar hintereinander in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten gemessen. Auf beiden Standorten hatte ca. 10 Tage vor dem Messtag ein Bewässerungsgang stattgefunden und es waren seit mehr als zwei Wochen keine Niederschläge mehr gefallen. Der Nachmittag wurde gewählt, weil zu diesem Zeitpunkt keine schnellen Änderungen der Umweltbedingungen zu erwarten waren, und so die Ergebnisse gut vergleichbar sein sollten. Am 28.06.05 herrschten wolkenlose Verhältnisse und heiße Sommertemperaturen (Tagesdurchschnittstemperatur 24,1 °C, Tagesmaximumtemperatur 32,0° C, relative Luftfeuchtigkeit um 14:00 Uhr: 35 %).

Fotosyntheseleistung, stomatäre Leitfähigkeit und WUE an den beiden Standorten sind in Tabelle 26 zusammengefasst. Dieser Messtag stellt wahrscheinlich den Tag mit der geringsten Wasserversorgung im Jahr 2005 dar. Wie in 4.2.1 beschrieben, gab es 2005 von der Blüte bis Ende Juni eine Trockenphase. Die Messung wurde genau zum Ende der Trockenphase vor dem Einsetzen der Niederschläge durchgeführt. Die Fotosyntheseleistung, stomatäre Leitfähigkeit und Water Use Efficiency lag auf beiden Standorten unter den Werten der übrigen Messungen in diesem Jahr. Die Fotosyntheserate am Standort B3 war mit 12,50 bis 13,25  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  deutlich niedriger als bei der Messung des Tagesganges acht Tage zuvor, wo sie zu Mittag zwischen 16,00 und 17,00  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  gelegen hatte. Diese Verminderung geht mit einer verminderten stomatären Leitfähigkeit einher, und deutet somit auf partiellen Stomataschluss am Nachmittag bedingt durch die Bodentrockenheit hin. Dennoch konnten keine signifikanten Unterschiede in der Fotosyntheseleistung zwischen den

Versuchsvarianten gefunden werden. Es lässt sich aber an beiden Standorten die Tendenz erkennen, dass die Fotosyntheserate der Blätter nicht bewässerter Reben am niedrigsten und die von doppelt bewässerten Reben am höchsten war.

Bei der stomatären Leitfähigkeit gab es hingegen am Standort B4 und im Mittel über beide Standorte signifikante Unterschiede, und zwar hatte die nicht bewässerte Variante eine signifikant geringere stomatäre Leitfähigkeit als die doppelt bewässerte. Bei der WUE gab es keine Unterschiede am Standort B4, am Standort B3 war sie in der nicht bewässerten Variante kleiner als in der normal bewässerten.

Hoch signifikante Unterschiede bestanden bei allen drei Gaswechselfparametern zwischen den beiden Versuchsstandorten. Am Standort B3 war im Mittel die Fotosyntheseleistung, die stomatäre Leitfähigkeit und auch die Water Use Efficiency geringer als am Standort B4, es gab keine Wechselwirkungen zwischen Standort und Variante. Dieses Ergebnis stimmt auch mit den Ergebnissen der Messungen der Tagesgänge des Gaswechsels an beiden Standorten im Jahr 2004 überein, wo ebenfalls der Standort B3 eine geringere maximale Fotosyntheseleistung hatte. Eine Mögliche Ursache für die geringere Fotosyntheseleistung ist ein größerer Trockenstress der Reben am Standort B3, weil der Boden auf diesem Standort schotterreicher war und eine geringere Wasserspeicherfähigkeit hatte. Aber auch die betriebsspezifische Bewirtschaftung könnte für die Reduktion der Fotosyntheseleistung entscheidend sein, da die Reben am Standort B3 durch eine hohe Triebzahl und starken Fruchtbehang weniger wüchsig und einem höheren Stress ausgesetzt waren als die Reben des Standortes B4.

Tabelle 26: Gaswechsel an den Standorten B3 und B4 am 28.06.2005 in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten

Parameter	Standort	Variante			Signifikanz		
		Nicht bewässert	Normal bewässert	Doppelt bewässert	Variante	Standort	Standort x Variante
A ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	B3	12,47	12,62	13,24	0,655ns		
	B4	13,65	14,09	15,22	0,243ns		
	Mittelwert	13,06	13,52	14,23	0,171ns	0,004**	0,818ns
gs ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	B3	0,146	0,133	0,148	0,466ns		
	B4	0,147a	0,161ab	0,182b	0,012*		
	Mittelwert	0,146	0,147	0,165	0,045*	0,003**	0,103ns
WUE	B3	2,09a	2,31b	2,20ab	0,037*		
	B4	2,40	2,39	2,55	0,191ns		
	Mittelwert	2,25	2,35	2,38	0,241ns	0,000***	0,94ns

#### 4.2.3.2 Leistungsfähigkeit der Rebblätter in Form von A-Q-Kurven

An zwei Terminen im Juli 2004 (16.07. und 28.07.), an denen aufgrund von Bewölkung kein Tagesgang der Gaswechselleistung gemessen werden konnte, wurde die Leistungsfähigkeit der Blätter in Abhängigkeit von der Belichtung durch Fotosynthese-Lichtkurven (A-Q-Kurven) bestimmt. Dazu wurden am 16.07.04 je 3 Blätter und am 28.07.04 je 3 Blätter in 2 Wiederholungen (also 6 Blätter) pro Variante gemessen. In den Abbildungen 17 und 18 sind Messpunkte der 3 bzw. 6 Wiederholungen sowie eine Kurve als Mittelwert der Wiederholungen dargestellt. Die Mittelwerte für Lichtkompensationspunkt, Dunkelatmung, Quantum Requirement, und Fotosyntheseleistung bei  $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  sind in den Tabellen 27 und 28 zusammengefasst.

Die Kurven am 16.07.04 (Abbildung 17) zeigen den typischen Verlauf von Fotosynthese-Lichtkurven. Im Schwachlichtbereich ( $0-100 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ist ein starker (fast linearer) Anstieg der Fotosyntheseleistung mit zunehmender Lichtintensität zu erkennen, danach flacht die Kurve ab und erreicht in einem Bereich zwischen  $800$  und  $1200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ihr Maximum. Die maximale Fotosyntheseleistung im Starklichtbereich (bei  $1500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ist relativ hoch und schwankt je nach Variante zwischen  $17,6$  und  $21,4 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Die Unterschiede zwischen den Bewässerungsvarianten sind wie auch bei Dunkelatmung, Lichtkompensationspunkt und Quantum Requirement durch die große Streuung der Wiederholungen nicht signifikant. Jede Kurve stellt eine Kurvenanpassung an die Messdaten von drei Blättern dar, Bestimmtheitsmaß und Signifikanz der Kurvenanpassung zu den Messwerten sind in der Abbildungsbeschriftung angegeben. Die Kurven zeigten nur eine geringe Dunkelatmung (zwischen  $0,11$  und  $0,76 \mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) und einen niedrigen Lichtkompensationspunkt (zwischen  $1,3$  und  $9,2 \mu\text{mol Photonen}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Dies bedeutet, dass bereits bei niedriger Lichtintensität die  $\text{CO}_2$ -Bindung durch die Fotosyntheseleistung größer ist als die  $\text{CO}_2$ -Produktion durch die Dunkelatmung. Mögliche Gründe dafür sind die nicht zu heißen Temperaturen (Tagesmaximum  $27,6^\circ \text{C}$ , Tagesdurchschnitt  $22^\circ \text{C}$ ) und die starke Bewölkung zum Zeitpunkt der Messung. Das Quantum Requirement im Schwachlichtbereich ist ein Maß dafür, wie effektiv das einfallende Licht durch den Fotosyntheseapparat zur  $\text{CO}_2$  Fixierung verwendet werden kann, das bedeutet je steiler der Anstieg der Kurve ist, umso geringer ist das Quantum Requirement, also der Bedarf an Photonen um ein Molekül  $\text{CO}_2$  zu binden. Für die Bindung eines Moleküls  $\text{CO}_2$  werden vom Fotosyntheseapparat mindestens 9 Photonen benötigt, daher stellt 9 den kleinst möglichen Wert für das Quantum Requirement dar. Die Werte für das Quantum Requirement lagen zwischen  $11,9$  und  $14,0$  und unterscheiden sich nicht voneinander.

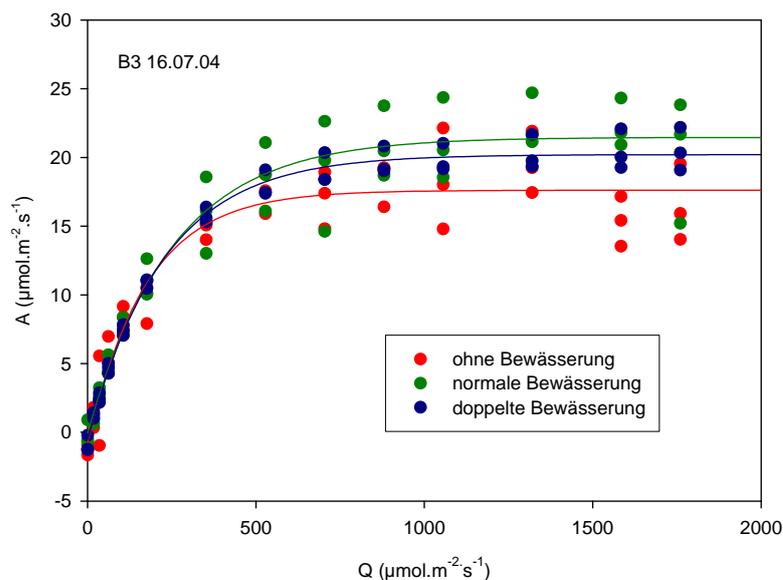


Abbildung 17: A-Q –Kurven für Blätter der Bewässerungsvarianten am Standort B3 am 16.07.2004  
 (Kurvenanpassung: ohne Bewässerung:  $r^2 = 0,927^{***}$ , normale Bewässerung:  $r^2 = 0,944^{***}$ ,  
 doppelte Bewässerung:  $r^2 = 0,990^{***}$ )

Tabelle 27: Mittelwerte der A-Q–Kurven für Blätter der Bewässerungsvarianten am Standort B3 am 16.07.2004

Parameter	Variante			Signifikanz Bewässerung
	Ohne Bewässerung	Normale Bewässerung	Doppelte Bewässerung	
Lichtkompensationspunkt ( $\mu\text{mol Photonen.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	9,21	1,30	5,77	0,172ns
Dunkelatmung ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	0,76	0,11	0,47	0,158ns
Quantum Requirement ( $\mu\text{mol Photonen}.\mu\text{mol CO}_2^{-1}$ )	11,88	13,97	12,90	0,313ns
$A_{1500}$ ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	17,61	21,41	19,74	0,123ns

Die Kurven am zweiten Termin (28.07.04) wurden an einem kühlen (Tagesdurchschnittstemperatur: 14,3 °C), windigen und durchgehend bewölkten Tag gemessen (Abbildung 18). Auch bei diesen Messungen waren generell niedrige Lichtkompensationspunkte (0,2 bis 5,1  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) und geringe Werte für die Dunkelatmung (0,02 bis 0,52  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) zu beobachten. Die Werte für die maximale Fotosyntheserate lagen mit 17,90 bis 18,90  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  im Mittel etwas niedriger als bei der ersten Messung. Das Quantum Requirement war ähnlich hoch wie am 16.07. und betrug im Mittel 11,30 bis 13,20. Obwohl je Variante 6 Blätter gemessen wurden, war die Streuung zwischen den einzelnen Kurven dennoch so hoch, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bewässerungsvarianten gab.

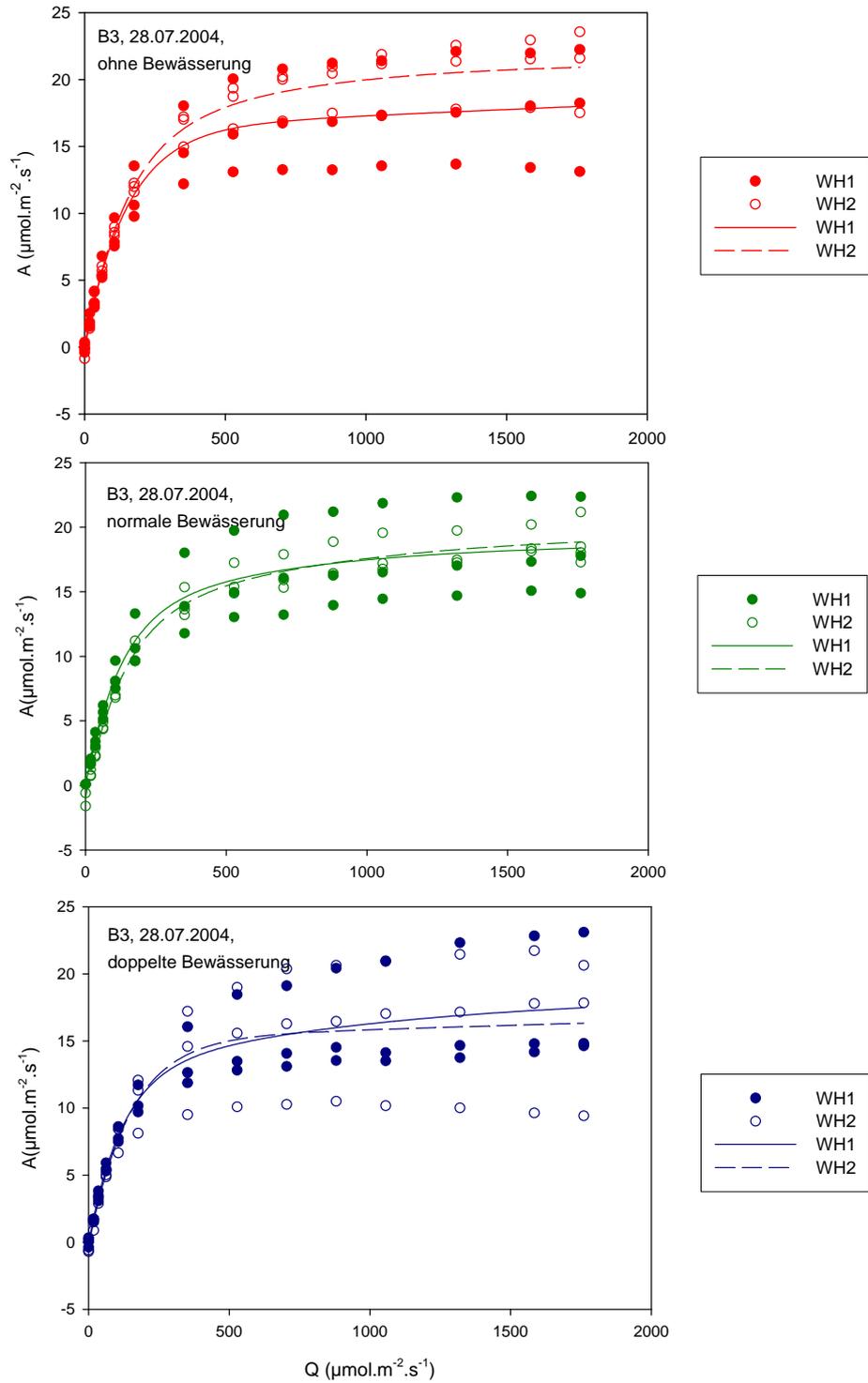


Abbildung 18: A-Q –Kurven für Blätter der Bewässerungsvarianten (oben: nicht bewässert, mitte normal bewässert, unten doppelt bewässert), am Standort B3 am 28.07.2004 (Kurvenanpassung: ohne Bewässerung:  $r^2 = 0,927^{***}$ , normale Bewässerung:  $r^2 = 0,944^{***}$ , doppelte Bewässerung:  $r^2 = 0,990^{***}$ )

Tabelle 28: Mittelwerte der A-Q –Kurven für Blätter der Bewässerungsvarianten am Standort B3 am 28.07.2004

Parameter	Variante			Signifikanz Bewässerung
	Ohne Bewässerung	Normale Bewässerung	Doppelte Bewässerung	
Lichtkompensationspunkt ( $\mu\text{mol PAR}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,21	1,48	5,10	0,089ns
Dunkelatmung ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,02	0,10	0,52	0,073ns
Quantum Requirement ( $\mu\text{mol Photonen}\cdot\mu\text{mol CO}_2^{-1}$ )	12,29	13,22	11,30	0,145ns
$A_{1500}$ $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	18,90	17,88	17,86	0,630ns

#### 4.2.4 Zusammenhang zwischen Predawn Water Potential und Gaswechsel der Reben

Die Ergebnisse aus den beiden witterungsbedingt sehr unterschiedlichen Versuchsjahren 2004 und 2005 zeigten, dass 2004 im Laufe der Saison Trockenstress, vor allem in der unbewässerten Variante herrschte, während 2005 die Fotosyntheseleistung weitgehend unbeeinträchtigt blieb. Um den Zusammenhang zwischen Predawn Water Potential, das als Maß für die Bodenwasserversorgung herangezogen wurde, und dem Gaswechsel zu verdeutlichen, wurden in Abbildung 19 die maximale Fotosyntheseleistung am Messtag sowie die stomatäre Leitfähigkeit bei maximaler Fotosyntheseleistung dem Predawn Water Potential am gleichen Tag gegenübergestellt. Die Abbildungen beinhalten die Messergebnisse beider Versuchsjahre (2004 und 2005) am Versuchsstandort B3 in Andau.

Die Auswertung zeigt, dass der Großteil der Messungen bei einem  $\psi_{PD}$  größer als -0,20 MPa durchgeführt wurde. In diesem Bereich (-0,20 bis 0 MPa) lässt sich aus den vorliegenden Daten kein Zusammenhang zwischen der maximalen Fotosyntheseleistung und dem Predawn Water Potential erkennen. Die Fotosyntheseleistung streut relativ stark zwischen 13,00 und 22,00  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Mögliche Gründe für die große Streubreite sind Unterschiede in Witterung, Blattalter, Nährstoffversorgung oder Blattgesundheit, die die maximale Fotosyntheserate beeinträchtigen können. Unterhalb von -0,20 MPa Predawn Water Potential gab es nur wenig Messpunkte. Dennoch zeichnete sich der Trend ab, dass unterhalb dieses Wertes die maximale Fotosyntheseleistung bedingt durch Wasserstress abnimmt.

Die stomatäre Leitfähigkeit in Abhängigkeit des Predawn Water Potentials zeigt eine noch größere Streubreite im Bereich  $\psi_{PD}$  größer als -0,20 MPa. Aber auch bei der stomatären Leitfähigkeit zeigt sich eine eindeutige Abnahme, wenn  $\psi_{PD}$  unter -0,20 MPa sinkt.

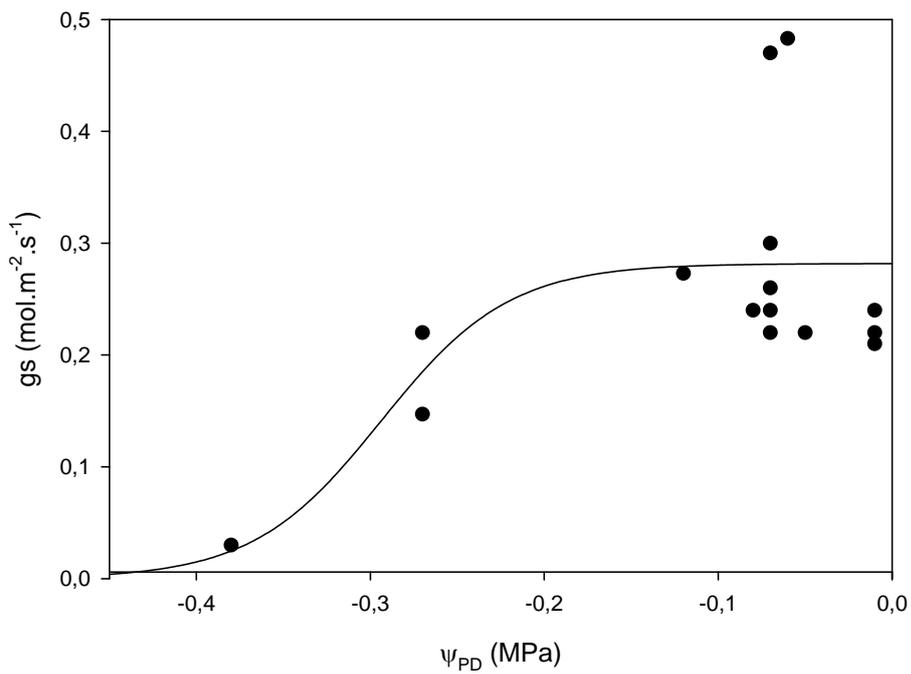
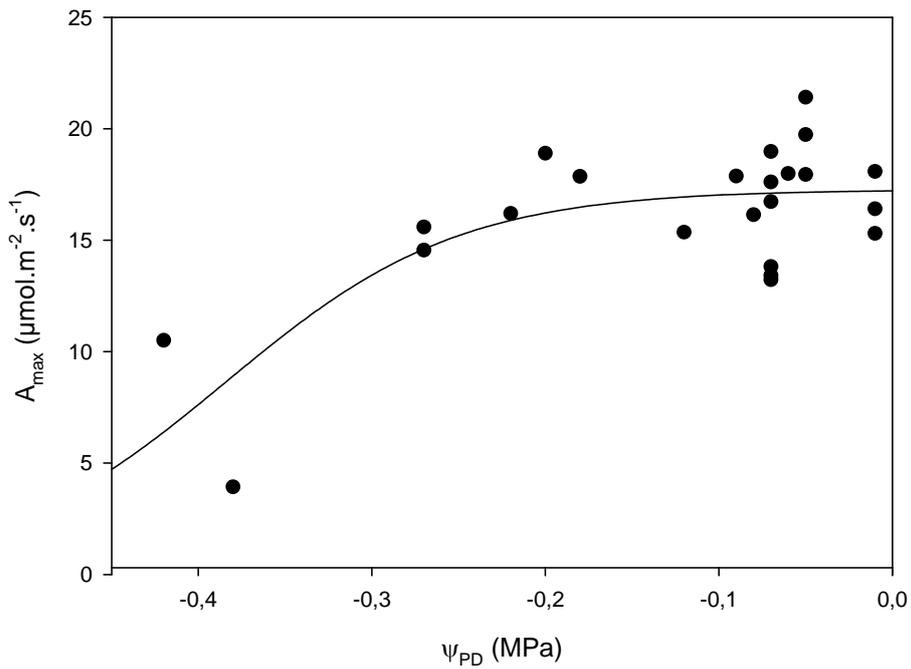


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen Predawn Water Potential und maximaler Fotosyntheserate (oben, Kurvenanpassung:  $r^2 = 0,536^{***}$ ) bzw. stomatärer Leitfähigkeit bei maximaler Fotosyntheserate (unten, Kurvenanpassung:  $r^2 = 0,404^*$ ).

## **4.3 Gaswechselleistung der Blätter unterschiedlicher Insertionshöhen im Jahresverlauf**

### **4.3.1 Verlauf der Trieb- und Blattentwicklung**

Um den Einfluss der Insertion eines Rebblattes am Rebtrieb und damit des Blattalters auf die Gaswechselleistung zu bestimmen, wurden in der Vegetationsperiode 2005 an den drei Standorten A2, B3 und B4 an je einem Rebstock drei Rebtriebe, die am Anfang, in der Mitte und am Ende des Fruchtbogens positioniert waren, markiert. Die Entwicklung dieser Rebtriebe (Trieblänge, Blattzahl, Blattfläche und Gaswechsel jedes Einzelblattes) wurde während der Vegetationsperiode kontinuierlich verfolgt. Die Messungen begannen im Mai im 4-Blattstadium der Rebe und endeten erst nach Reifebeginn. Die drei Standorte unterschieden sich in ihrer Anlageform und Bewirtschaftungsweise. Der Standort A2 war eine Dichtpflanzung (1,8 m x 0,8 m) mit wüchsigen Trieben und einer hohen Laubwand. Die Reben waren auf einen Fruchtbogen geschnitten, auf dem nach dem Jäten 6-7 Rebtriebe belassen wurden. Am Standort B3 (Weitraumanlage mit 2,8 m x 1,0 m) wurde ein längerer Fruchtbogen angeschnitten, und da im Frühjahr kein Jäten erfolgte, fanden sich ca. 13 Rebtriebe je Stock. Der Standort B4 war ebenfalls eine Weitraumanlage (2,7 m x 1,0 m) mit dem Schnitt auf einen Fruchtbogen. Nach der Triebausdünnung in Frühjahr verblieben ca. 7-8 Rebtriebe pro Stock.

In Abbildung 20 ist der Verlauf der Triebängenentwicklung als Mittelwert der drei markierten Triebe je Standort dargestellt. Es ist zu sehen, dass am Standort B3 mit den meisten Trieben je Stock die Triebe von Beginn deutlich schwächer wuchsen als auf den beiden anderen Standorten. Am längsten waren die Triebe am Standort A2. Zwischen 5. und 6. Messtermin (Ende Juni, nach der Blüte) wurden die Anlagen betriebsüblich gewipfelt. Durch die Stellung der Triebe in der Laubwand wurden von den drei markierten Trieben in allen drei Anlagen nur einer (der stammnahe, aufrecht wachsende Trieb) durch den Laubschneider erfasst. Die beiden anderen Triebe (in der Mitte und am Ende des Fruchtbogens) wuchsen schräg geneigt, sodass die Spitzen nicht durch den Laubschneider erfasst wurden. So konnte auch nach dem betriebsüblichen Wipfeln bei den letzten beiden Terminen das Triebängenwachstum gemessen werden. Die Rebtriebe erreichten Anfang August eine durchschnittliche Länge von 100 cm (B3) bis 140 cm (A2).

Die Zahl der Haupttriebblätter entwickelte sich auf allen Standorten trotz der unterschiedlichen Triebängen ähnlich (Abbildung 21). Vom Beginn der Messungen im 4-Blatt-Stadium bis zur vorletzten Messung bei Traubenschluss konnte eine annähernd lineare Zunahme der Blattzahl auf ca. 20 Blätter je Trieb beobachten werden. Erst danach (bis Reifebeginn) flachte die Kurve ab, und die Rate der Blattneubildung verringerte sich.

Die mittlere Blattfläche je Trieb (Summe der Einzelblattflächen der Haupttriebblätter) war an den ersten beiden Terminen im Mai an allen drei Standorten ähnlich (Abbildung 22). Dann zeigte sich, dass wie bei den Triebängen auch die Blattflächen des Stockes am Standort B3 weniger stark

zunahmen. Durch die ungefähr gleiche Blattzahl je Trieb war die geringere Blattfläche je Stock am Standort B3 hauptsächlich durch kleinere Einzelblattflächen bedingt. Während der Blüte kam es am Standort B4 zu einer leichten Reduktion der Zuwachsraten der Blattfläche je Trieb im Vergleich zum Standort A2, wo die Blattfläche bis zum Traubenschluss kontinuierlich zunahm. Die leichte Abnahme der Blattflächen zwischen Traubenschluss und Reifebeginn, die auf allen Standorten zu beobachten war, kam einerseits durch einen geringeren Zuwachs neuer Blätter, andererseits durch den Verlust von Blatteilen durch den erneuten Einsatz von Laubschneidern zustande.

Wird die durchschnittliche Blattfläche je Einzeltrieb mit der Triebzahl des Stockes multipliziert, so erhält man einen Richtwert für die durchschnittliche Blattfläche (der Haupttriebblätter) je Rebstock. Wird dieser Wert durch den Standraum je Rebstock dividiert, so resultiert daraus der Blattflächenindex (=  $\text{m}^2$  Blattfläche je  $\text{m}^2$  Bodenfläche). Bei der Berechnung als Blattfläche je Rebstock (Abbildung 23) liegt der Standort B3, der mit 13 Rebtrieben ca. doppelt so viele Triebe hatte, deutlich vor den anderen beiden, die sich kaum unterscheiden (6 Triebe bei A2, 7 Triebe bei B4). Bezieht man jedoch den Pflanzverband in die Rechnung mit ein, so weist der Standort A2 durch die Dichtpflanzung (0,8 m x 1,8 m) den höchsten Blattflächenindex auf. Nur etwas geringer ist der Blattflächenindex des Standortes B3, deutlich geringer ist allerdings jener am Standort B4, der eine ähnliche Triebzahl wie A2 hat, jedoch einen viel weiteren Pflanzverband (2,7 m x 1,0 m). Der Blattflächenindex für die Haupttriebblätter stieg von 0,10 kurz nach dem Austrieb auf ca. 0,80 (B4) bis 1,45 (A2) zu Reifebeginn. Das bedeutet, dass pro  $\text{m}^2$  Bodenfläche 0,80 bis 1,45  $\text{m}^2$  Blattfläche an Haupttriebblättern vorhanden war.

In Abbildung 24 (links) ist die Summe der Fotosyntheseleistung je Trieb und je Stock dargestellt. Dazu wurde die Fotosyntheseleistung jedes Einzelblattes mit der Blattfläche multipliziert und die Werte der Blätter je Trieb summiert. Da die Fotosyntheseleistung stark witterungsabhängig ist, schwankte die Fotosyntheseleistung deutlich stärker als die Blattflächenentwicklung. Zuerst kam es gleichzeitig mit der Blattentwicklung zu einem raschen Anstieg der Fotosyntheseleistung je Trieb, danach allerdings zu einer Stagnation, was einerseits durch die anhaltend kühle Witterung in diesem Zeitraum erklärt werden kann. Andererseits trat der Effekt ein, dass es mit Zunahme der Laubmasse zu vermehrter Selbstbeschattung kam und die beschatteten Blätter nur mehr eine geringe Fotosyntheseleistung zeigten, während zu Beginn der Messungen (im 4 Blatt-Stadium) noch jedes Rebblatt voll von der Sonne belichtet worden war (Abbildung 25). Zur Zeit der Blüte (Mitte Juni) stieg die Summe der Fotosyntheseleistung je Trieb durch die günstige Witterung und den höheren Anteil an ausgewachsenen, voll leistungsfähigen Blättern wieder stark an. In der Zeit zwischen Blüte und Reifebeginn zeigten sich Unterschiede zwischen den Standorten, wobei es am Standort A2 zu einem kontinuierlichen, am Standort B3 einem etwas geringeren Anstieg, und am Standort B4 nach einem Einbruch beim Messtermin zu Traubenschluss wieder zu einem Anstieg bis Reifebeginn kam. Da die Messung zu Traubenschluss an einem sehr heißen Tag durchgeführt wurde, kam es am Standort B4 zu einer deutlichen Reduktion des Gaswechsels, der an den anderen beiden Standorten

nicht in diesem Ausmaß beobachtet werden konnte. Der Grund für den starken Einbruch der Fotosynthese am Standort B4 ist vermutlich kein Wasserstress, da in den Tagen zuvor Niederschläge gefallen waren. Möglicherweise waren die Blätter durch Kaliummangel geschwächt, da die Blattanalysen für die Reben dieses Standortes eine starke Unterversorgung mit Kalium aufzeigten, und reagierten daher mit starker Reduktion der Fotosyntheseleistung auf Hitze, Trockenheit und hohe Sonneneinstrahlung zum Messtermin. Am Standort A2 kam es bei den letzten Terminen zu der höchsten Fotosyntheseleistung je Trieb, da die Blätter auf diesem Standort die durchschnittlich höchste Fotosyntheserate hatten, und auch ein relativ hoher Anteil an belichteten Blättern vorhanden war.

Bei der hochgerechneten Fotosyntheseleistung je Stock (Abbildung 24 rechts) sieht man, dass am Standort B3 die Reben durch die hohe Triebzahl in Summe die höchste Fotosyntheseleistung je Stock aufwiesen. Da der Standort A2 bei den letzten beiden Messungen aber die höchste Einzeltriebphotosynthese hatte, war im Vergleich zum Stock am Standort B3 die Gesamtfotosyntheseleistung je Stock trotz einer um 50 % geringeren Triebzahl nur um ca. 30 % niedriger.

In Abbildung 25 ist der Anteil der belichteten Blätter (im Mittel der 3 Triebe) zum Zeitpunkt der Messung auf einer Laubwandseite am jeweiligen Messtermin dargestellt. Da die Reihen auf den drei Versuchsstandorten A2, B3 und B4 annähernd N-S ausgerichtet waren (Tabelle 1), wurden die Messungen am Vormittag auf der Ostseite der Rebzeile durchgeführt, am Nachmittag auf der Westseite. Bei den Messungen wurde festgehalten, ob das Blatt direkt von der Sonne bestrahlt wurde oder im Schatten lag. In Abbildung 25 ist zu sehen, dass zu den ersten zwei Terminen noch alle Blätter von der Sonne belichtet wurden, am dritten Termin lag durch die Selbstbeschattung der Anteil der besonnenen Blätter nur mehr zwischen 50 % (B3) und 65 % (A2). Während der gesamten Vegetationsperiode war der Anteil an besonnenen Blättern am Standort B3 niedriger als an den beiden anderen Standorten A2 und B4, da auf diesem Standort die Laubwand durch die hohe Triebzahl den dichtesten Wuchs aufwies. Ab der Blüte blieb der Anteil besonnener und nicht besonnener Blätter etwa gleich, Schwankungen ergaben sich durch Neubildung von Blättern und betriebsübliche Laubarbeitsmaßnahmen.

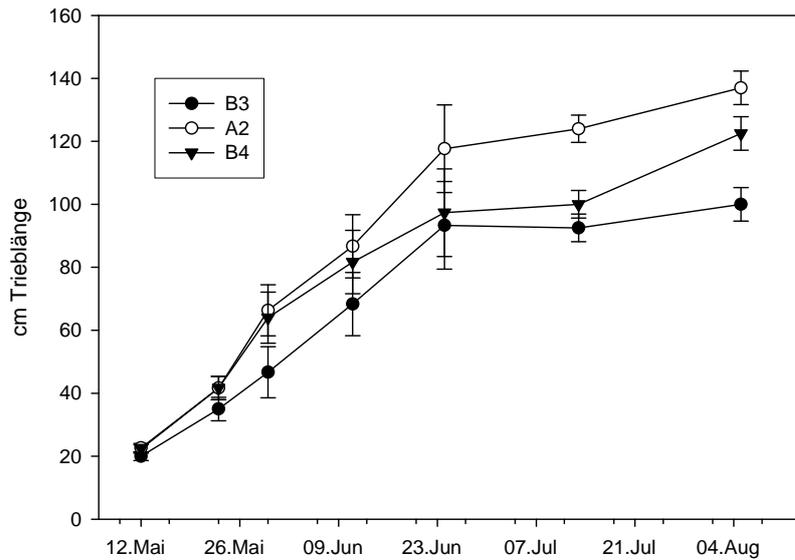


Abbildung 20: Verlauf des mittleren Trieb­längenwachstums an den 3 Versuchsstandorten im Jahr 2005 (Messtermin 1-5: n = 3 Triebe, Messtermin 6+7: n = 2 Triebe), die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar.

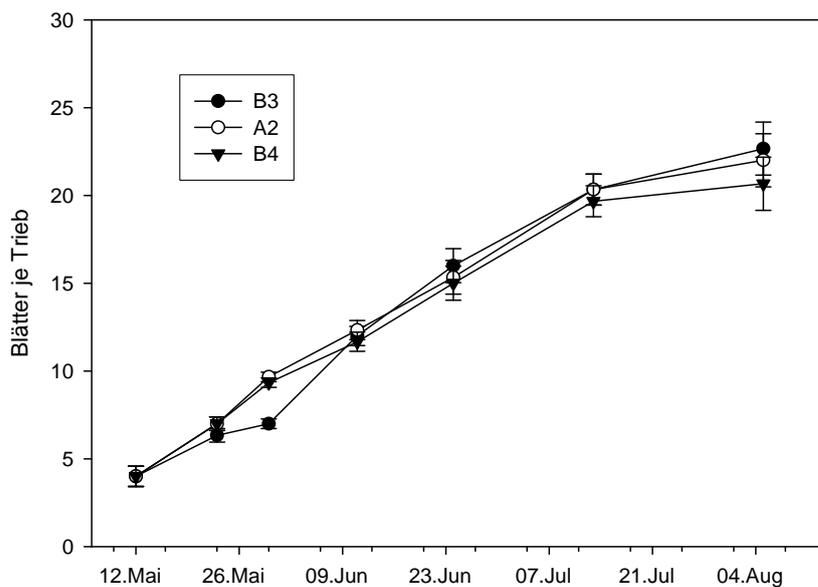


Abbildung 21: Entwicklung der durchschnittlichen Blattzahl (Haupttrieb­blätter) je Trieb an den 3 Versuchsstandorten im Jahr 2005 (n = 3 Triebe, die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar).

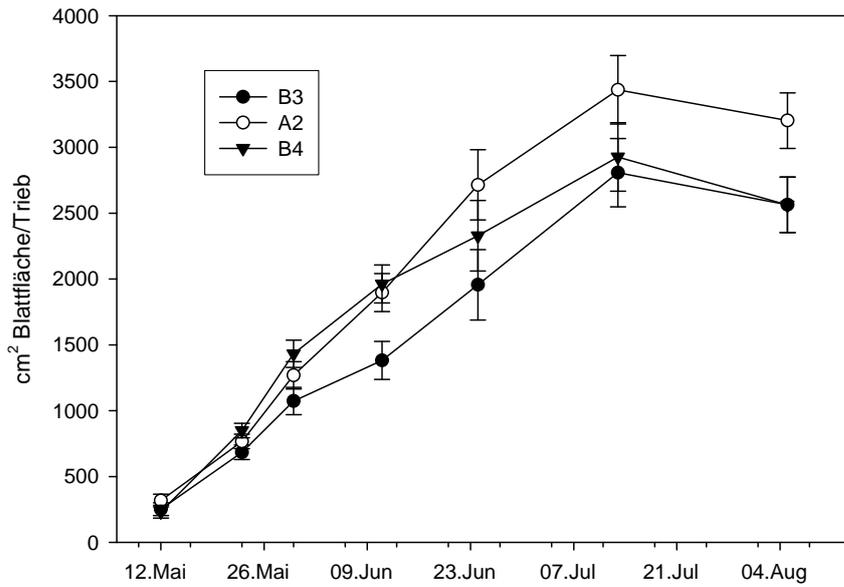


Abbildung 22: Entwicklung der mittleren Blattfläche der Haupttriebblätter je Trieb der Einzelstöcke an den 3 Versuchsstandorten im Jahr 2005 (Mittelwert aus 3 Trieben, die Fehlerbalken stellen den Standardfehler dar).

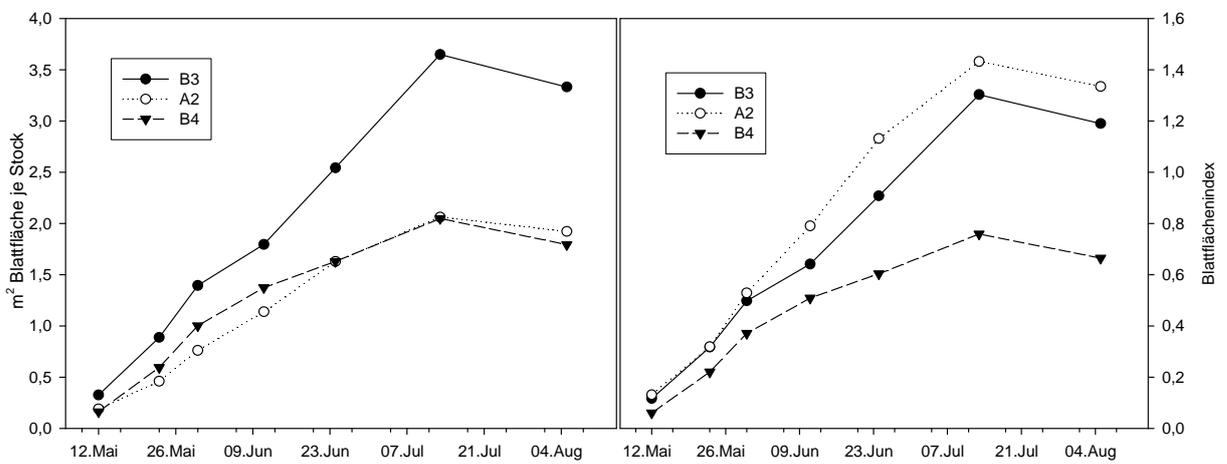


Abbildung 23: Entwicklung von Blattfläche je Stock (links) und Blattflächenindex (rechts) an den 3 Versuchsstandorten im Jahr 2005

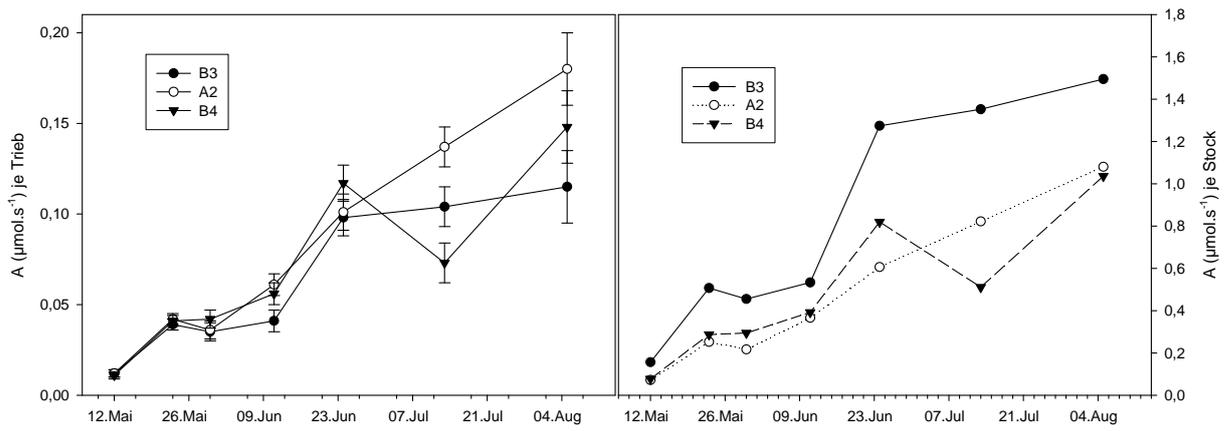


Abbildung 24: Entwicklung von Nettofotosyntheseleistung je Rebtrieb (bezogen auf die Haupttriebblätter, links) und je Stock (rechts) an den 3 Versuchsstandorten im Jahr 2005

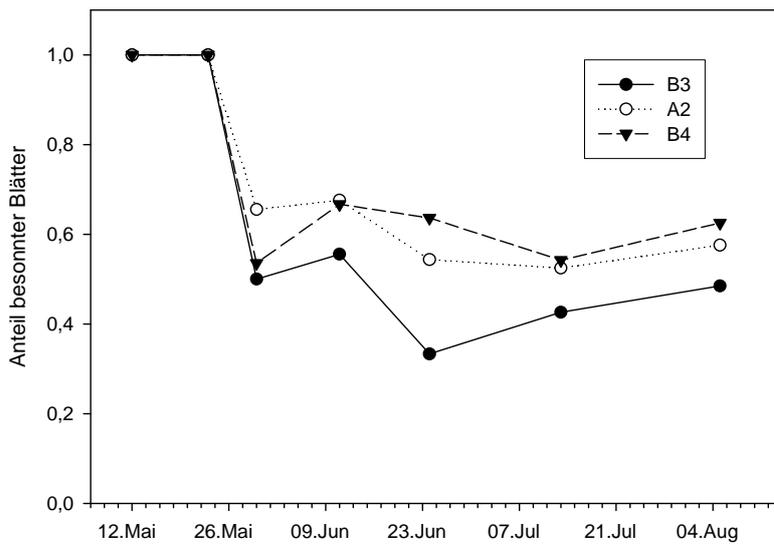


Abbildung 25: Verlauf des Anteils der besonnenen Haupttriebblätter zum Zeitpunkt der Messung an den 3 Versuchsstandorten im Jahr 2005

### 4.3.2 Gaswechsel in Abhängigkeit von der Insertionshöhe

In den Abbildungen 26 bis 31 sind die Fotosyntheseleistung (A) und Water Use Efficiency (WUE) der Blätter in Abhängigkeit von der Insertionshöhe für jeden Messtermin im Jahr 2005 an den Standorten A2, B3 und B4 dargestellt. Um den Einfluss der Umweltbedingungen gering zu halten, wurden die Messungen auf allen drei Standorten am selben Tag durchgeführt. Jede Grafik stellt den Mittelwert aus drei Rebtrieben dar, ab dem 3. Termin am 30.05.05 sind die Ergebnisse für Sonnenblätter (ausgefüllte Kreise) und Schattenblätter (leere Kreise) getrennt dargestellt. Für die Messergebnisse wurden getrennt für Sonnen- und Schattenblätter (wie in Material und Methoden beschrieben) Kurvenanpassungen mittels Sigma-Plot durchgeführt, das Bestimmtheitsmaß und die Signifikanz der einzelnen Kurven sind in den Tabellen 29 und 30 aufgelistet. In den Tabellen 31 und 32 sind die Ergebnisse der Regressionskurven zusammengefasst, das heißt, es wurde für jeden Termin die Insertionshöhe mit maximaler Fotosyntheseleistung bzw. maximaler Water Use Efficiency dargestellt. Bei der ersten Messung am 12.05.05 waren die Fotosyntheseleistungen an allen drei Standorten (Abbildungen 26 bis 28) sehr gering. Die höchsten Werte mit ca. 5,00- 6,00  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  wurden von den älteren Blättern (1. bis 3. Insertion) erreicht, die jüngeren Blätter der 4. und 5. Insertion hatten Fotosyntheseleistungen, die nur knapp über Null lag. Die generell niedrigen Werte zu diesem Messtermin dürften großteils durch die niedrigen Temperaturen an diesem Tag (Tagesdurchschnittstemperatur 10,4° C, Tagesmaximaltemperatur 17,6° C) bedingt gewesen sein. Ein weiterer Grund für die niedrige Fotosyntheserate dürfte das Blattalter sein. Auch die Blätter im unteren Triebbereich waren noch nicht voll ausgebildet und hatten daher noch eine niedrigere Fotosyntheserate.

Am nächsten Termin, 11 Tage später (23.05.05), lag die maximale Fotosyntheseleistung bereits deutlich höher. Die ältesten Blätter (1. und 2. Insertion unterhalb der Traubenzone) erreichten mit durchschnittlich 13,00-15,00  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  die höchste Fotosyntheseleistung. Ab der vierten Insertion (Traubenzone) ging die Fotosyntheseleistung deutlich zurück, die jüngsten Blätter an der Triebspitze (7. Insertion) zeigten teilweise eine negative Fotosynthese, das bedeutet, dass von den jungen Blättern mehr Sauerstoff veratmet wurde als CO<sub>2</sub> aufgenommen. Am dritten Messtermin (30.05.05) konnte bereits zwischen besonnten und nicht besonnten Blättern unterschieden werden. Die Sonnenblätter der zweiten bis vierten Insertion erreichten die höchsten Werte mit etwa 15,00-18,00  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , die etwas höher als beim vorigen Termin lagen. Die Schattenblätter hatten eine deutlich niedrigere Fotosynthese mit maximal 5,00-7,00  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Wieder war ein deutlicher Abfall von der Triebbasis zu den noch wachsenden Blättern der Triebspitze zu erkennen. Zu Blütebeginn am 11.06.05 lag die maximale Fotosyntheseleistung je nach Standort bei den Blättern im Bereich der Traubenzone zwischen 2. und 5. Insertion, die Fotosyntheseleistung der darüber inserierten Blätter nahm Richtung Triebspitze ab.

Beim ersten Termin nach der Blüte (24.06.05) war eine deutliche Veränderung zu den Messungen vor der Blüte zu bemerken. Die Zone der Blätter mit maximaler Fotosyntheseleistung hatte sich von der Traubenzone nach oben zur 7. bis 11. Insertion verschoben. Auch konnte man ab diesem Datum deutliche Unterschiede im Kurvenverlauf der drei verschiedenen Standorte erkennen. Am Standort B3 war an diesem Termin der Anteil der Schattenblätter in den unteren Insertionshöhen sehr groß, wobei eine starke Streuung der Werte beobachtet werden konnte. Am Standort A2 waren mehr als die Hälfte der Blätter Sonnenblätter und die Werte streuten weit weniger. Von den Sonnenblättern der 9. bis 10. Blatttage wurden auch höhere Fotosyntheseleistungen als am Standort B3 erzielt. Am Standort B4 war der Anteil der besonnten Blätter ebenfalls höher als am Standort B3, auch hier wurden durch die Sonnenblätter höhere Werte erzielt, jedoch streuten die Werte ähnlich wie am Standort B3 stark.

Am 13.07.05 zu Traubenschluss war die höchste Fotosyntheseleistung am Standort A2 zu beobachten, die geringste Leistung am Standort B4. Wie bereits bei der Gesamtfotosyntheseleistung je Trieb beschrieben, herrschte an diesem Tag eine sehr heiße und trockene Witterung, die bei den Reben am Standort B4 vermutlich aufgrund des Kaliummangels zu einer stärkeren Reduktion der Fotosyntheseleistung führte als auf den anderen Standorten.

Am letzten Messtermin zu Reifebeginn war wieder am Standort A2 die Fotosyntheseleistung am höchsten, der Kurvenverlauf der Sonnenblätter zeigte an diesem Standort wie bereits am 13.07. deutlich, dass die Blätter der 16. und 17. Insertion die höchste Fotosyntheseleistung hatten. Aber auch die Blätter der Traubenzone zeigten noch eine relativ hohe Fotosyntheseleistung. Am Standort B3 war die Fotosyntheseleistung sowohl von Sonnenblättern als auch von Schattenblättern niedrig. Alte wie junge Blätter hatten ähnliche Fotosyntheseleistungen, sodass sich kein Kurvenverlauf ergab und daher nur schwer ein Bereich der maximalen Fotosyntheseleistung zu erkennen war. Am Standort B4 wurden teilweise höhere Fotosyntheseleistungen als am Standort B3 erzielt, allerdings war die Streuung der Werte sehr stark, sodass auch hier nur schwer ein Kurvenverlauf zu erkennen war.

Die Kurven der Water Use Efficiency (Fotosyntheseleistung im Verhältnis zur Transpiration) in Abhängigkeit von der Insertionshöhe haben grundsätzlich einen anderen Verlauf als die Kurven der Fotosyntheseleistung (Abbildungen 28 bis 31). Bei allen Messungen vor der Blüte nahm die WUE mit dem Alter der Blätter zu. Das bedeutet, dass die jungen Blätter eine schlechtere Wasserausnutzung haben als die bereits ausgewachsenen. Bei den Messungen nach der Blüte verlaufen die Kurven relativ flach. Das Verhältnis zwischen Fotosyntheseleistung und Transpiration ist nach der Blüte bei den Blättern aller Insertionshöhen ähnlich. Es gab einerseits keinen starken Abfall mehr bei den jungen Blättern, aber auch die alten Blätter zeigten im Vergleich zu den gerade erwachsenen Blättern keine schlechtere WUE, sondern in manchen Fällen sogar eine etwas bessere. Dies kommt dadurch zustande, dass ältere Blätter bereits eine geringere Fotosyntheseleistung und zugleich auch eine geringere Transpiration haben. Teilweise liegen die Kurven der Schattenblätter etwas niedriger als jene der Sonnenblätter. Der Vergleich der Standorte zeigt, dass bei den Messungen nach der Blüte die WUE an den Standorten B3 und B4 ähnlich hoch war und bei ca. 4 lag, am Standort A2 an den beiden

Terminen am 24.6.05 und 13.07.05 mit durchschnittlich 3 aber etwas niedriger. Diese schlechte Wasserausnutzung am Standort A2 ging aber mit gleichzeitig höheren Fotosyntheseraten als auf den Standorten B3 und B4 einher.

Interessant ist auch, dass an den Standorten B3 und B4 die WUE an allen drei Terminen nach der Blüte in einem ähnlichen Bereich lag, obwohl die Fotosyntheseleistungen von Messtermin zu Messtermin sehr unterschiedlich waren. Wie beim Verlauf der Fotosynthese gezeigt wurde, war am Standort B3 am 13.07.05 die Fotosyntheseleistung im Mittel sehr niedrig, dennoch war der Wert der WUE vergleichbar mit den anderen beiden Terminen nach der Blüte. Dies könnte darauf hinweisen, dass es durch Hitze und Lufttrockenheit an diesem Tage zu einem Schließen der Stomata kam, wodurch sowohl die Fotosynthese als auch die Transpiration in gleichem Maße zurückgingen.

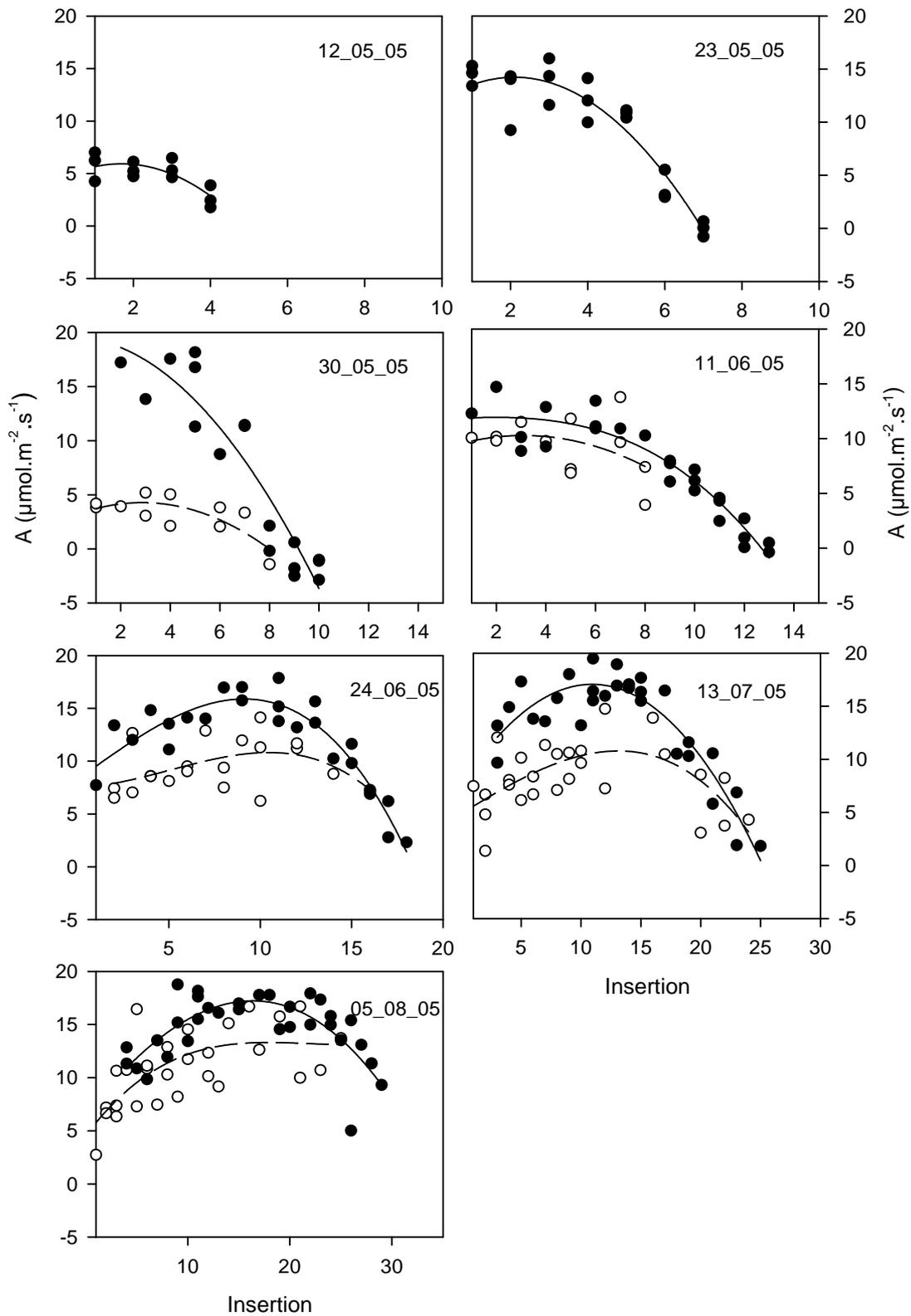


Abbildung 26: Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Insertionshöhe des Blattes am Trieb am Standort A2 im Jahr 2005. (● = Lichtblatt, ○ = Schattenblatt)

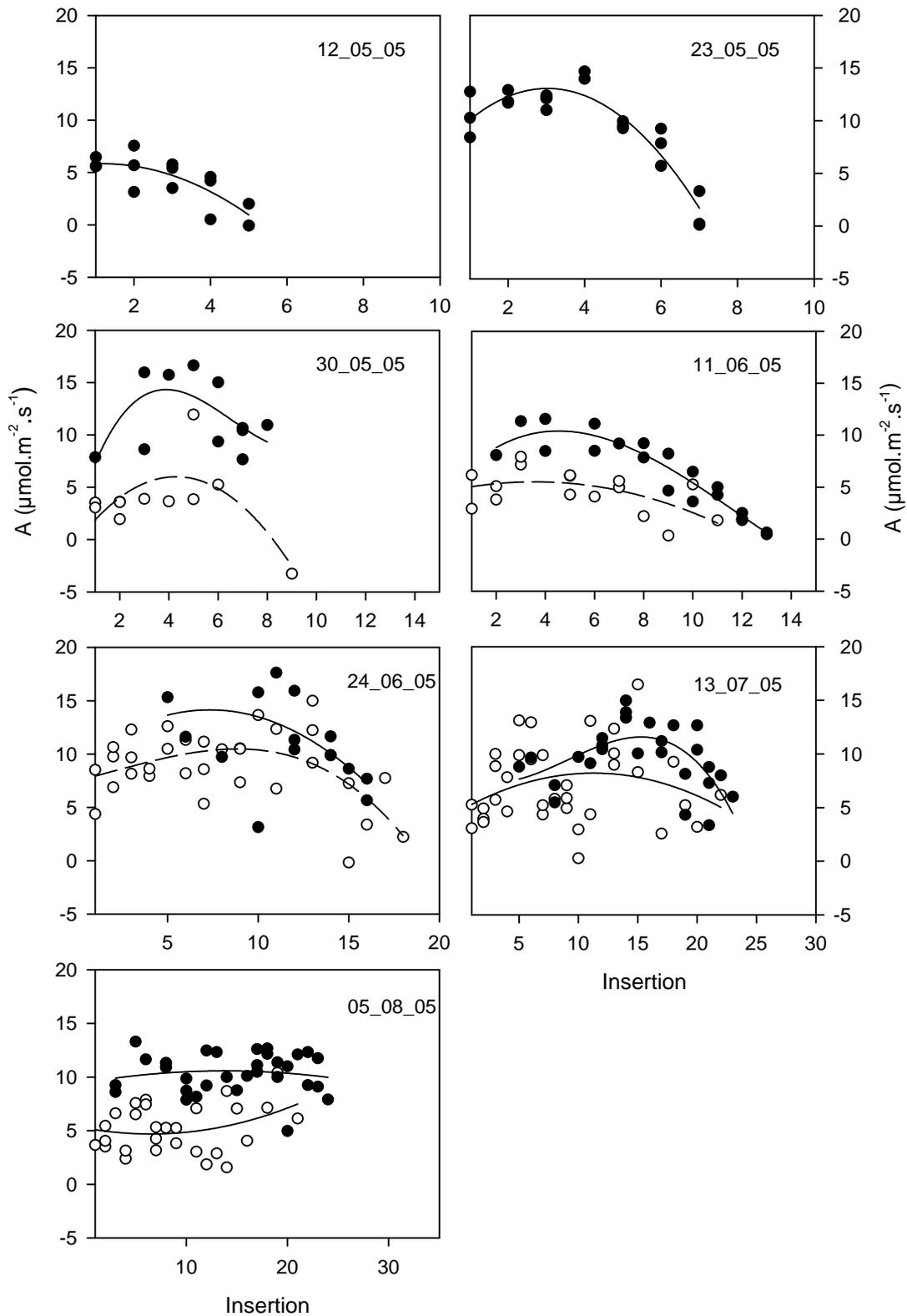


Abbildung 27: Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Insertionshöhe des Blattes am Trieb am Standort B3 im Jahr 2005 (● = Lichtblatt, ○ = Schattenblatt)

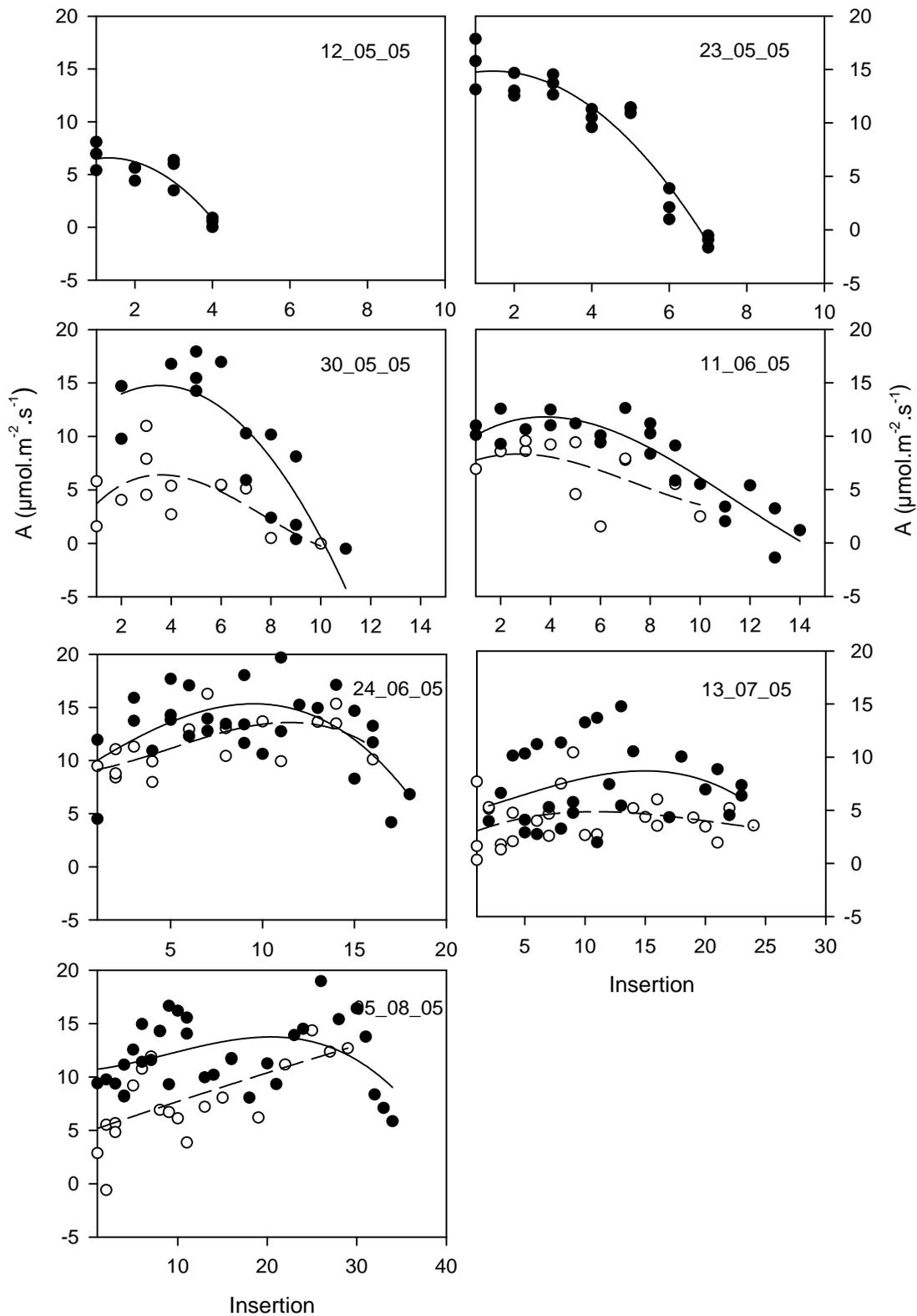


Abbildung 28: Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Insertionshöhe des Blattes am Trieb am Standort B4 im Jahr 2005 (● = Lichtblatt, ○ = Schattenblatt)

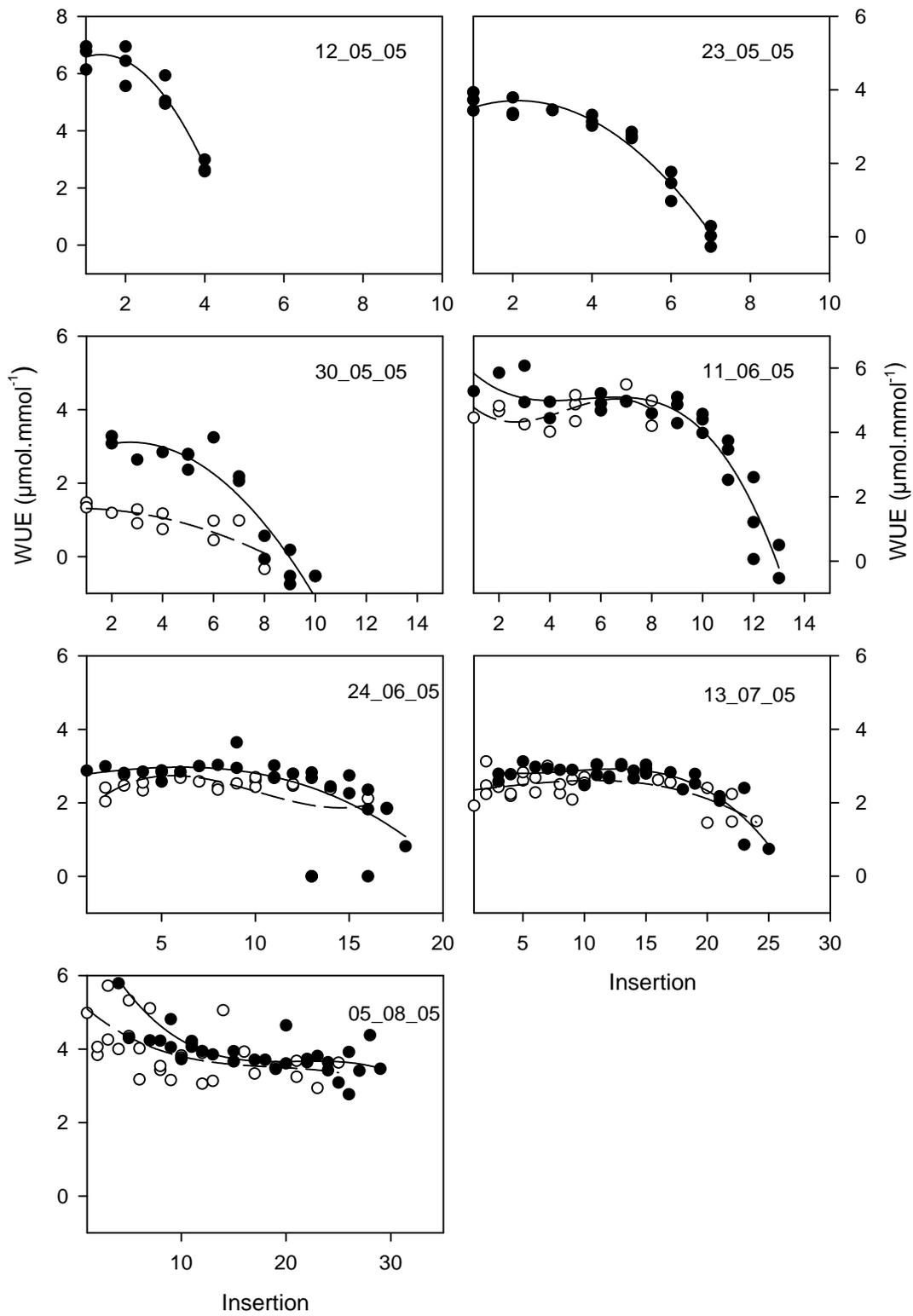


Abbildung 29: WUE in Abhängigkeit von der Insertionshöhe des Blattes am Rebtrieb am Standort A2 im Jahr 2005 (● = Lichtblatt, ○ = Schattenblatt)

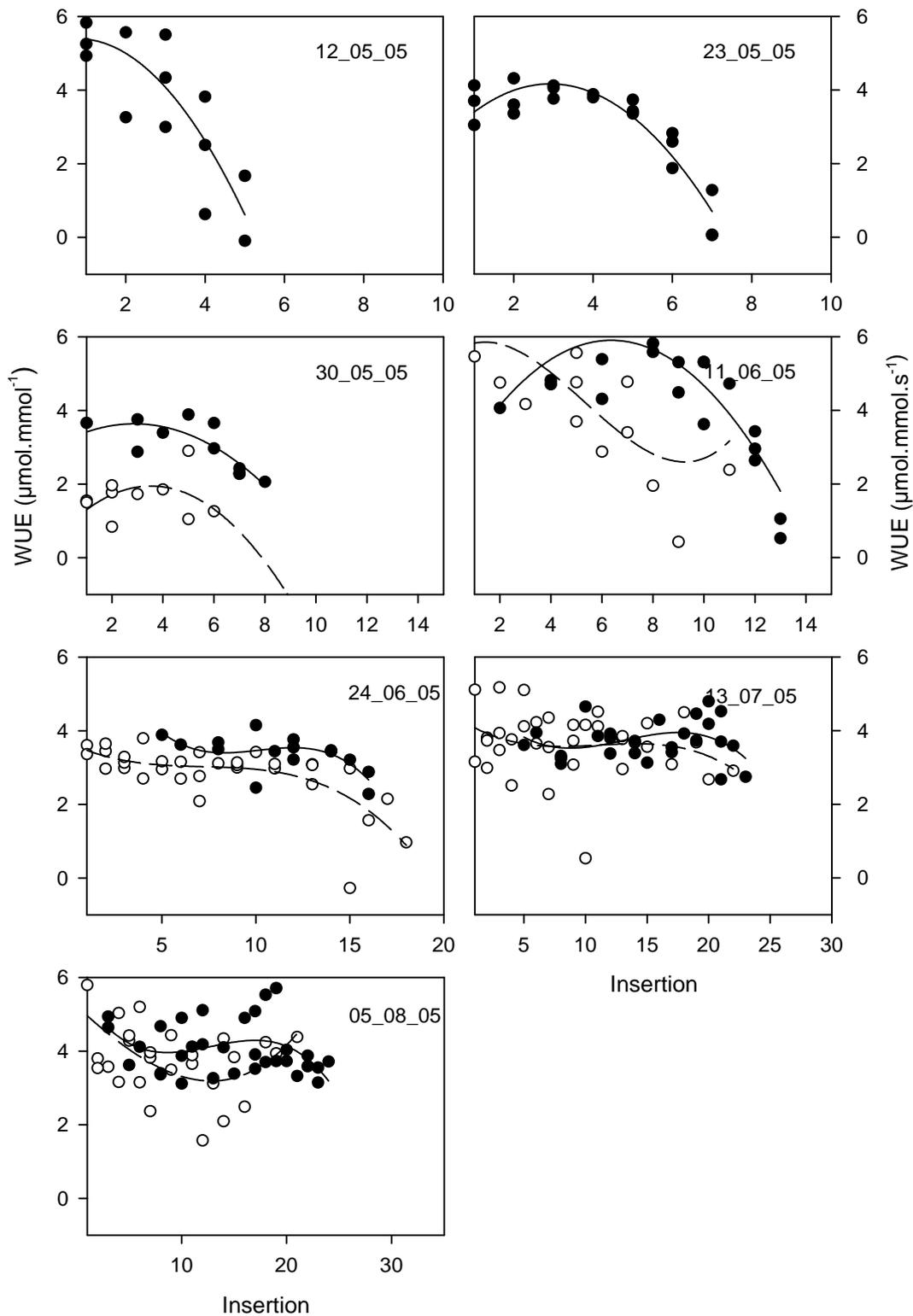


Abbildung 30: WUE in Abhängigkeit von der Insertionshöhe des Blattes am Trieb am Standort B3 im Jahr 2005  
 (● = Lichtblatt, ○ = Schattenblatt)

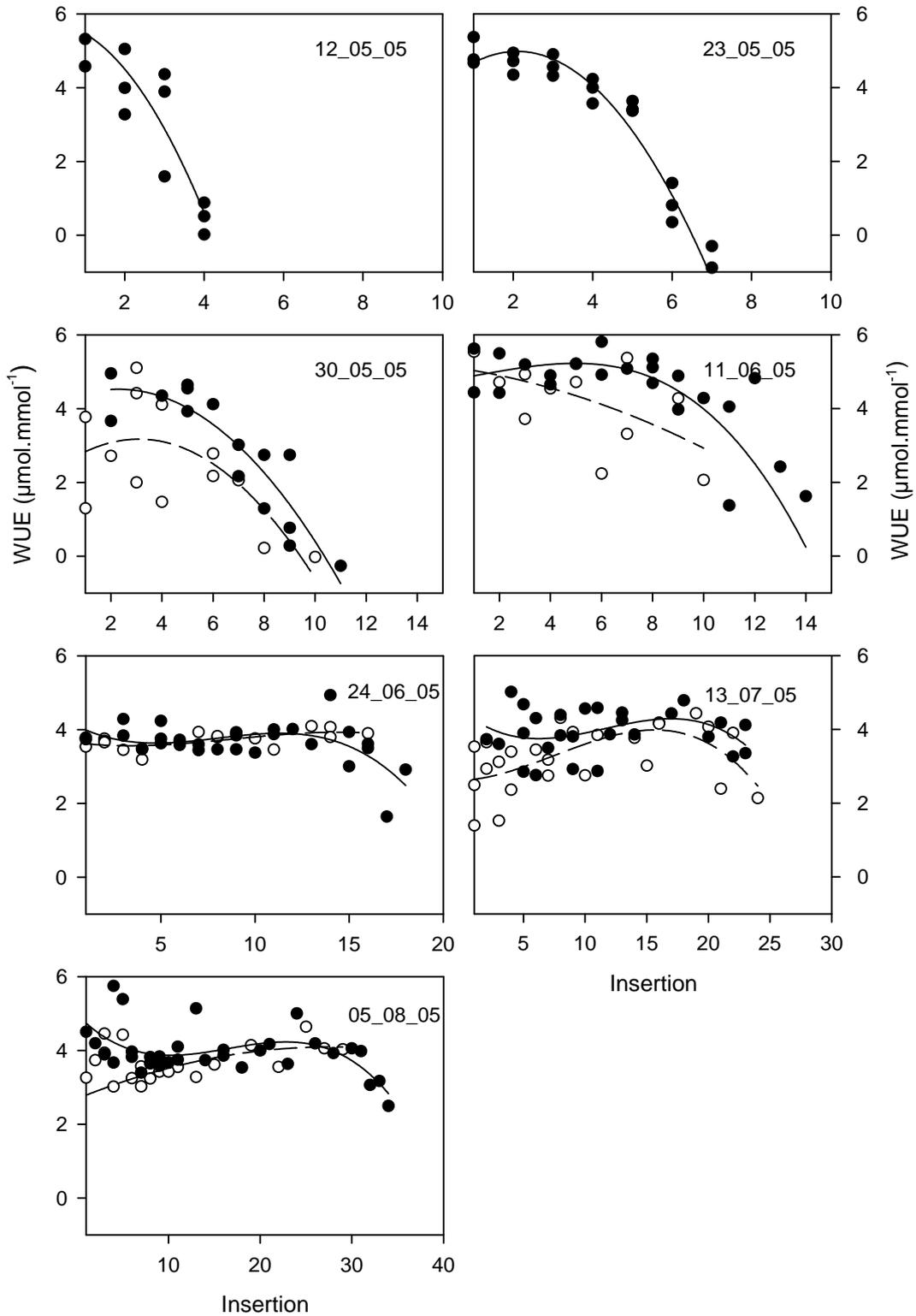


Abbildung 31: WUE in Abhängigkeit von der Insertionshöhe des Blattes am Trieb am Standort B4 im Jahr 2005

(● = Lichtblatt, ○ = Schattenblatt)

Tabelle 29: Statistik zu den in Abbildungen 26 bis 28 dargestellten Regressionskurven der Fotosyntheseleistung

$r^2$ und Signifikanz						
Standort	A2		B3		B4	
Termin	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt
12.05.05	0,610*		0,603***		0,790***	
23.05.05	0,889***		0,872***		0,907***	
30.05.05	0,882***	0,569*	0,407ns	0,642ns	0,706***	0,448ns
11.06.05	0,890***	0,160ns	0,898***	0,330ns	0,838***	0,347ns
24.06.05	0,874***	0,244ns	0,264ns	0,315*	0,378**	0,410ns
13.07.05	0,835***	0,379ns	0,390*	0,072ns	0,073ns	0,074ns
05.08.05	0,533***	0,458**	0,013ns	0,098ns	0,015ns	0,398*

Tabelle 30: Statistik zu den in Abbildungen 29 bis 31 dargestellten Regressionskurven der WUE

$r^2$ und Signifikanz						
Standort	A2		B3		B4	
Termin	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt
12.05.05	0,929***		0,701**		0,800***	
23.05.05	0,959***		0,881***		0,938***	
30.05.05	0,906***	0,653*	0,664*	0,724*	0,813***	0,479*
11.06.05	0,894***	0,276ns	0,612***	0,496*	0,588***	0,315ns
24.06.05	0,426**	0,249ns	0,449ns	0,502***	0,336*	0,385ns
13.07.05	0,781***	0,454**	0,100ns	0,052ns	0,094ns	0,349*
05.08.05	0,594***	0,317ns	0,171ns	0,287*	0,328*	0,137ns

In Tabelle 31 sind die aus den Regressionskurven ermittelten Insertionshöhen der Rebblätter mit der höchsten Fotosyntheseleistung am Trieb an jedem Messtermin zusammengefasst. Die Ergebnisse zeigen an allen drei Standorten einen deutlichen Sprung zwischen Blütebeginn (11.06.05) und Blüteende (24.06.05). Bei den ersten vier Terminen verändert sich die Zone jener Blätter, die die höchste Fotosyntheseleistung am Rebtrieb zeigten, kaum. Zu Beginn lag sie zwischen erster und zweiter Insertion, bei der 4. Messung zu Blütebeginn nur etwas höher zwischen zweiter und vierter Insertion. Beim nächsten Termin zwei Wochen später, der knapp nach der Blüte lag, hat sich der Bereich schlagartig auf 7. bis 11. Insertion verschoben. Bis zu Reifebeginn wandert die Zone dann kontinuierlich weiter bis zur Triebspitze.

Der Verlauf ist an jedem Standort nur geringfügig verschieden. Am Standort A2 ist der Sprung um den Blütetermin am deutlichsten ausgeprägt. Auch sind an diesem Standort die Insertionshöhen der Blätter mit der höchsten Fotosyntheseleistung an den meisten Terminen etwas niedriger als bei den anderen beiden Standorten. Am Standort B3 verläuft die Verschiebung der Zone mit der höchsten Fotosyntheseleistung etwas kontinuierlicher, am Standort B4 verschiebt sich die Insertionshöhe mit

der höchsten Fotosyntheseleistung bis zu Traubenschluss und Reifebeginn am weitesten, bis über die 20. Insertion, nach oben.

Da die WUE nach der Blüte eine sehr flache Kurve zeigte, war aus diesen Kurvenanpassungen nur schwer eine Insertionshöhe mit maximaler WUE zu ermitteln (Tabelle 32). Dadurch waren keine deutlichen Maxima oder zum Teil sogar zwei je Kurve erkennbar. Vor der Blüte bestand ein deutlicher Unterschied zwischen den bereits voll ausgebildeten Blättern im unteren Triebbereich und den jungen frisch entfalteten an der Triebspitze, wobei die jungen Blätter eine sehr geringe WUE aufwiesen. Vor der Blüte entsprachen die Bereiche mit maximaler WUE jenen, die auch die höchste Fotosyntheserate aufwiesen. Im weiteren Verlauf der Saison waren die Unterschiede zu den jungen Blättern nicht mehr so stark ausgeprägt, und die alten Blätter hatten keine niedrigere, sondern zum Teil sogar höhere WUE als die Blätter im mittleren Triebbereich.

Tabelle 31: Insertionshöhe der Blätter mit höchster Fotosyntheseleistung am Trieb an den einzelnen Messterminen im Verlauf der Vegetationsperiode (Werte aus nicht signifikanten Kurvenanpassungen sind in Klammer gesetzt)

Insertionshöhe der Blätter mit der höchsten Fotosyntheseleistung am Trieb						
Standort	A2		B3		B4	
Termin	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt
12.05.05	1,7		1,2		1,3	
23.05.05	2,1		3,0		1,5	
30.05.05	2,0	2,9	(3,9)	(4,3)	3,5	3,6
11.06.05	2,0	(3,1)	4,5	(3,6)	3,8	2,7
24.06.05	9,1	(10,5)	(7,3)	8,8	9,5	11,4
13.07.05	10,9	(13,1)	15,2	(11,3)	(15,0)	10,8
05.08.05	16,4	17,8	13,8	(> 20,0)	(20,3)	(> 25,0)

Tabelle 32: Insertionshöhe der Blätter mit höchster WUE am Trieb an den einzelnen Messterminen im Verlauf der Vegetationsperiode. (Werte aus nicht signifikanten Kurvenanpassungen sind in Klammer gesetzt)

Insertionshöhe der Blätter mit höchster WUE						
Standort	A2		B3		B4	
Termin	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt	Lichtblatt	Schattenblatt
12.05.05	1,4		1,0		1,0	
23.05.05	2,1		2,9		2,1	
30.05.05	2,7	1,0	2,9	3,5	2,3	3,1
11.06.05	1,0 / 6,7	(1,0 / 6,6)	6,3	1,4	5,0	( 1,0)
24.06.05	6,0	( 5,6)	(12,0)	1,0	1,0 / 11,3	(14,4)
13.07.05	3,0 / 12,5	10,7	(5,0 / 17,5)	(1,0 / 14,1)	(2,0 / 16,9)	15,6
05.08.05	4,0 / >23,0	(1,0)	(3,0 / 17,0)	1,0 / 21,0	1,0 / 22,3	(> 25,0)

### 4.3.3 Gaswechsel in Abhängigkeit vom Blattalter

Für die Berechnung des Gaswechsels in Abhängigkeit des Blattalters wurden die Ergebnisse jedes Standortes unabhängig von Messtermin und Insertionshöhe zusammengefasst.

In den folgenden Abbildungen (Abbildungen 32 bis 37) sind Fotosyntheseleistung und Water Use Efficiency in Abhängigkeit des Blattalters (in Tagen) als Mittelwert über alle Insertionshöhen und Messtermine, getrennt für Sonnen- und Schattenblätter dargestellt. In Tabelle 33 ist das aus den angepassten Kurven ermittelte Blattalter dargestellt, an dem die Blätter die maximale Fotosyntheseleistung und 90 %, 75 % und 50 % der maximalen Fotosyntheseleistung erbringen.

Es ergibt sich für die Sonnenblätter auf allen drei Standorten ein Kurvenverlauf, der durch einen raschen Anstieg der Fotosyntheseleistung bis zu einem Maximum um den 30. bis 41. Tag gekennzeichnet ist. Danach flacht die Kurve ab, und es kommt zu einem langsamen Rückgang der Fotosyntheseleistung mit zunehmendem Blattalter. Der Kurvenverlauf ist auf allen Standorten ähnlich, jedoch bestehen Unterschiede in der durchschnittlichen Höhe der Fotosyntheseleistung, sowie im Blattalter, bei dem die maximale Fotosyntheseleistung erbracht wird.

Der Standort A2 zeigt im Durchschnitt die höchste Fotosyntheseleistung ( $15,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), die bei einem Blattalter von 41 Tagen erreicht wird. Bereits nach ca. 30 Tagen erreichen die Blätter am Standort B3 ihr Maximum, das mit  $11,50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  deutlich niedriger ist. Ähnlich wie am Standort B3 verhält es sich auch auf B4, die Blätter haben ihre maximale Fotosyntheseleistung nach ca. 32 Tagen erreicht, sie liegt mit  $12,66 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  etwas höher als am Standort B3. Die Kurven der Schattenblätter verlaufen ähnlich denen der Sonnenblätter, wobei die maximale Fotosyntheseleistung geringer ist. An den Standorten A2 und B3 wird die maximale Fotosyntheseleistung der Schattenblätter etwas später erreicht, am Standort B4 hingegen etwas früher als bei den Sonnenblättern. Dies lässt keine Schlüsse darüber zu, ob die Schattenblätter schneller oder langsamer altern als die besonnten.

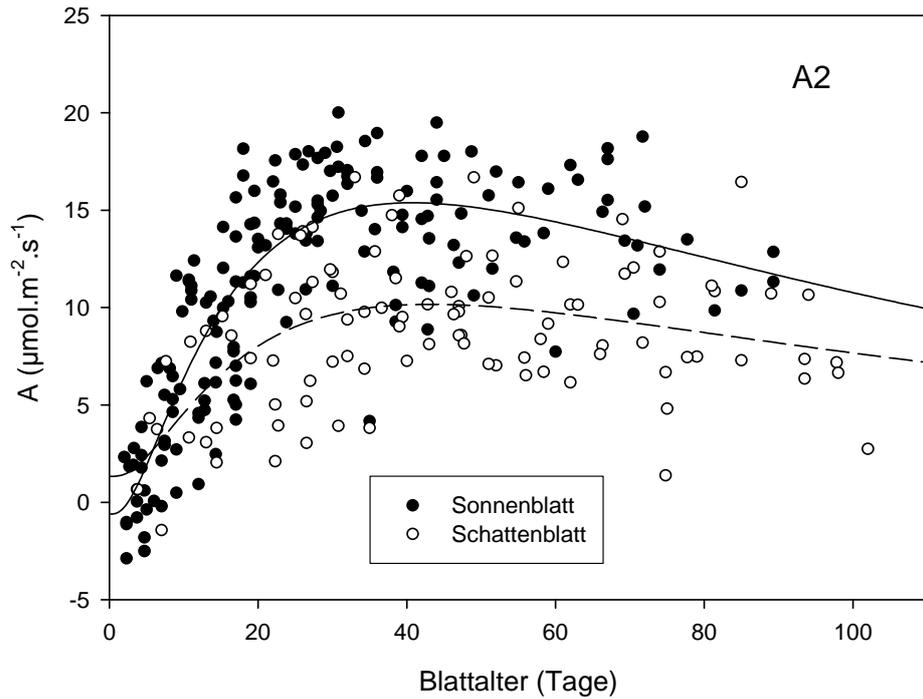


Abbildung 32: Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von Blattalter und Belichtung am Standort A2 im Jahr 2005 (Kurvenanpassung Lichtblatt:  $r^2 = 0,699^{***}$ ; Kurvenanpassung Schattenblatt:  $r^2 = 0,239^{***}$ )

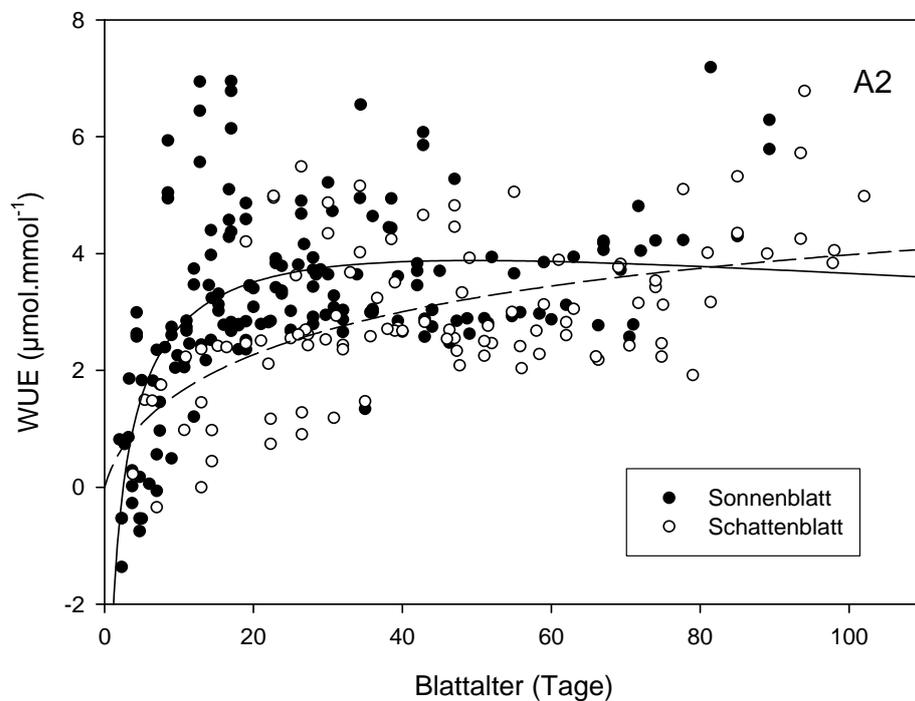


Abbildung 33: WUE in Abhängigkeit von Blattalter und Belichtung am Standort A2 im Jahr 2005 (Kurvenanpassung Lichtblatt:  $r^2 = 0,391^{***}$ ; Kurvenanpassung Schattenblatt:  $r^2 = 0,300^{***}$ )

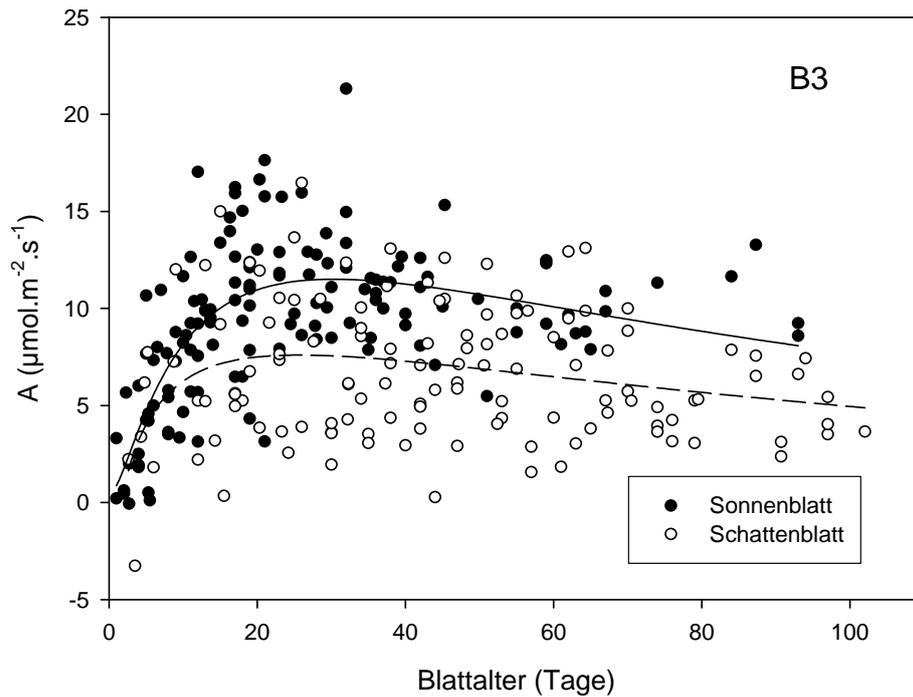


Abbildung 34: Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von Blattalter und Belichtung am Standort B3 im Jahr 2005  
 (Kurvenanpassung Lichtblatt:  $r^2 = 0,448^{***}$ ; Kurvenanpassung Schattenblatt:  $r^2 = 0,096^*$ )

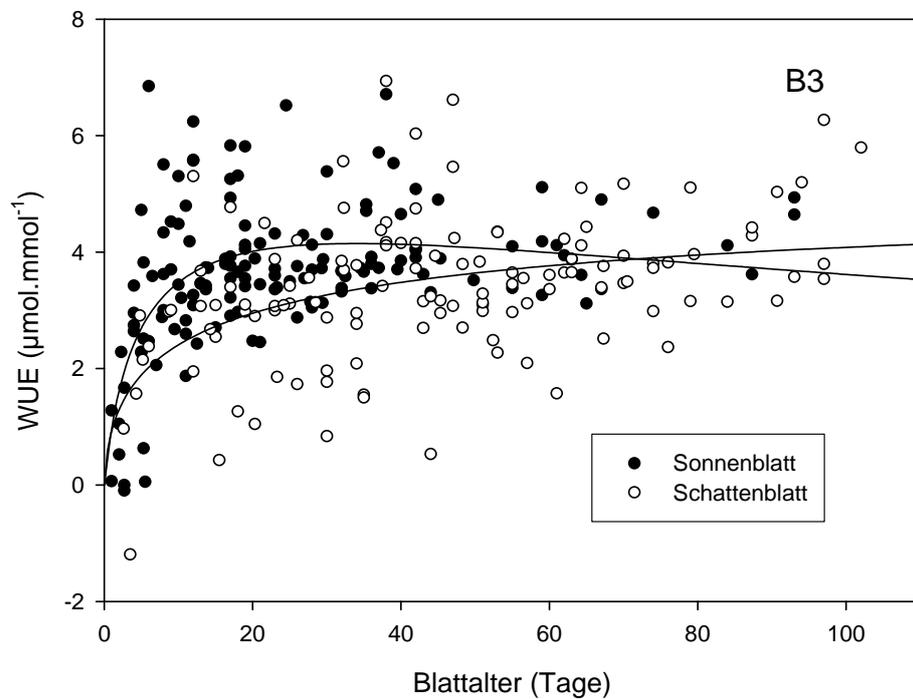


Abbildung 35: WUE in Abhängigkeit von Blattalter und Belichtung am Standort B3 im Jahr 2005  
 (Kurvenanpassung Lichtblatt:  $r^2 = 0,328^{***}$ ; Kurvenanpassung Schattenblatt:  $r^2 = 0,198^{***}$ )

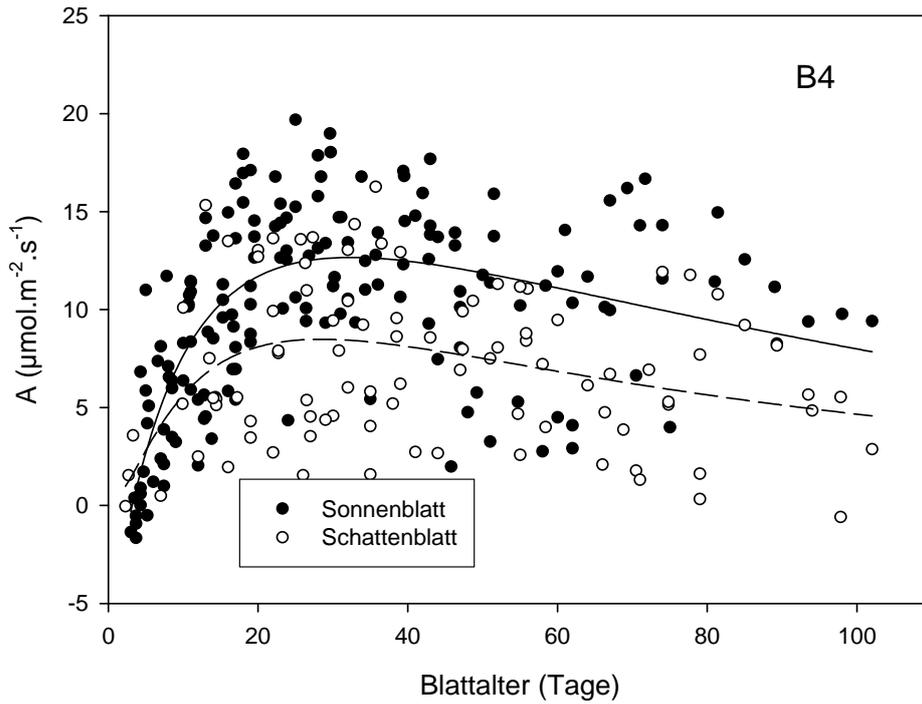


Abbildung 36: Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von Blattalter und Belichtung am Standort B4 im Jahr 2005  
 (Kurvenanpassung Lichtblatt:  $r^2 = 0,437^{***}$ ; Kurvenanpassung Schattenblatt:  $r^2 = 0,153^*$ )

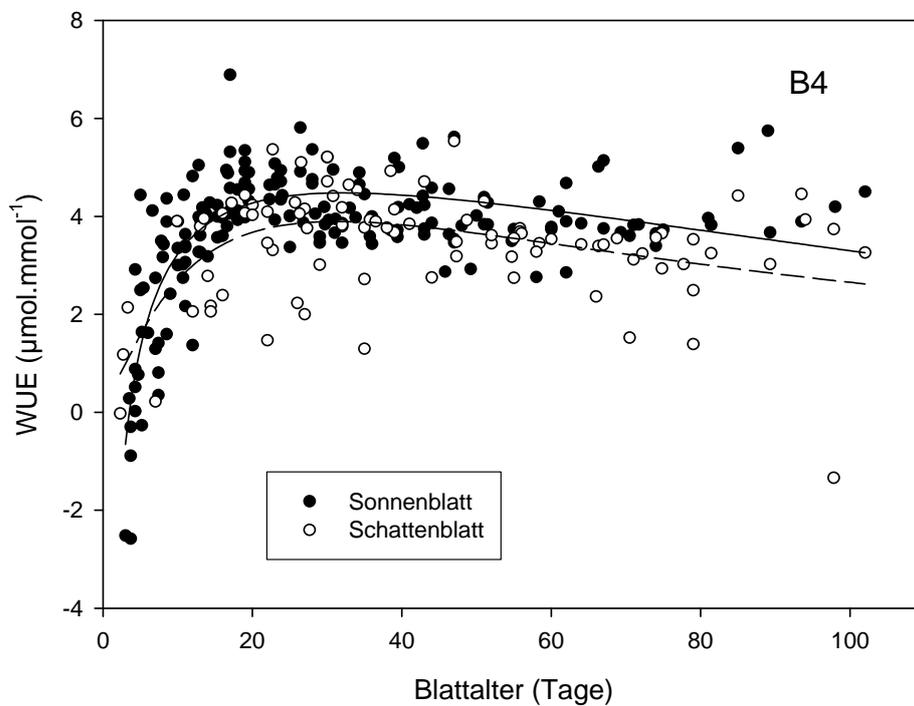


Abbildung 37: WUE in Abhängigkeit von Blattalter und Belichtung am Standort B4 im Jahr 2005  
 (Kurvenanpassung Lichtblatt:  $r^2 = 0,619^{***}$ ; Kurvenanpassung Schattenblatt:  $r^2 = 0,282^{***}$ )

Aus den Kurvenverläufen (Abbildungen 32, 34 und 36) wurde das Blattalter ermittelt, bei dem Blätter 90 %, 75 % und 50% ihrer maximalen Leistung erbringen (Tabelle 33). Die wachsenden Blätter haben mit einem Blattalter von 4 bis 8 Tagen bereits 50 % ihres späteren Fotosynthesemaximums erreicht, mit 11 bis 18 Tagen 75 % und mit 17 bis 24 Tagen 90 % der maximalen Fotosyntheseleistung. Die höchste Fotosyntheseleistung erbrachten die Blätter mit einem Alter zwischen 30 und 40 Tagen. Dies entspricht ca. jenem Blattalter, in dem Blätter auch ihre endgültige Größe erreicht haben. Betrachtet man den Zeitraum nach dem Maximum, so erbringen Sonnenblätter mit einem Alter von 56 Tagen (B3 und B4) bis 70 Tagen (A2) noch 90 % der maximalen fotosynthetischen Leistung. 75% des maximal möglichen Wertes werden sogar nach 80 Tagen (B4), 83 Tagen (B3), und 95 Tagen (A2) erreicht. Die ältesten gemessenen Blätter hatten ein Blattalter von beinahe 100 Tagen und erbrachten dennoch über 50 % der maximalen Fotosyntheseleistung.

Tabelle 33.: Blattalter und Fotosyntheserate mit maximaler Fotosyntheserate, 90 %, 75 % und 50 % der maximalen Fotosyntheseleistung, an den 3 Standorten für Sonnen- und Schattenblätter

Standort	Lichtblatt			Schattenblatt		
	Fotosyntheseleistung		Blattalter (Tage)	Fotosyntheseleistung		Blattalter (Tage)
	Relativwert vom Maximum	absoluter Wert ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )		Relativwert vom Maximum	absoluter Wert ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	
A2	50%	7,50	4	50%	5,08	11
	75%	11,25	18	75%	7,62	19
	90%	13,50	24	90%	9,14	26
	100%	15,00	41	100%	10,16	43
	90%	13,50	70	90%	9,14	72
	75%	11,25	95	75%	7,62	101
B3	50%	5,75	5	50%	3,80	5
	75%	8,63	11	75%	5,69	8
	90%	10,35	17	90%	9,83	13
	max.	11,50	30	max.	7,59	34
	90%	10,35	56	90%	9,83	51
	75%	8,63	83	75%	5,69	79
B4	50%	6,33	8	50%	4,24	7
	75%	9,50	13	75%	6,36	12
	90%	11,39	19	90%	7,63	17
	max.	12,66	32	max.	8,48	28
	90%	11,39	56	90%	7,63	48
	75%	9,50	80	75%	6,36	68

Die Auswertung der WUE (Abbildungen 33, 35 und 37) brachte Kurvenverläufe, die sich von denen der Fotosynthese unterschieden. Die Regressionskurven der WUE hatten zu Beginn zwar einen raschen Anstieg, Die höchste WUE wurde von den Sonnenblättern mit einem Alter von 33 (Standort B4) bis 50 (Standort A2) Tagen, also etwas später als die maximale Fotosyntheserate erreicht. Nach Erreichen des Maximums kam es aber kaum zu einer Abnahme der WUE mit zunehmendem Blattalter, sodass die Kurven beinahe parallel zur X-Achse verliefen. Dies bedeutet, dass auch alte Blätter keine oder nur eine geringfügig Verringerung der WUE hatten. Dies war vor allem auf den Standorten A2 und B3 zu beobachten. Bei den Kurven der Schattenblätter zeigte sich teilweise ein kontinuierlicher Anstieg der WUE bis zum Ende der Messungen. Dieser Kurvenverlauf ließ nicht zu, eindeutig ein Blattalter für den Wert der maximalen Fotosyntheseleistung zu bestimmen.

#### 4.3.4 Blattfläche in Abhängigkeit vom Blattalter

Wie Fotosyntheseleistung und Water Use Efficiency wurde auch die Blattfläche in Abhängigkeit des Blattalters (in Tagen) betrachtet (Abbildungen 38 bis 40). Die Auswertung erfolgte als Mittelwert über alle Messtermine. Da es sich zeigte, dass Unterschiede zwischen den Insertionshöhen in der Blattgröße ausgewachsener Blätter bestehen, wurden die Insertionshöhen für die Auswertung in Bereiche zusammengefasst. Die erste Zone waren die Blätter unterhalb der Traubenzone (Insertion 1-3), die zweite Gruppe beinhaltete die Blätter der Traubenzone (Insertion 4-6), in der dritten Gruppe wurden die Blätter oberhalb der Traubenzone bis zur 11. Insertion (Insertion 7-11) zusammengefasst, in der 4. Gruppe alle Blätter der Insertionen 12-20, die 5. Gruppe umfasste alle Blätter, die oberhalb der 20. Insertion gebildet worden waren, und in der 6. Gruppe wurden die Geiztriebblätter dargestellt. Für jede Gruppe und jeden Standort wurden Kurvenanpassungen durchgeführt. Aus den Kurven wurden die Blattflächen der ausgewachsenen Blätter ermittelt, dafür wurde die mittlere Blattfläche am 50. Tag herangezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 34 zusammengefasst.

Für die Kurvenanpassungen wurden Kurven gewählt, die sich exponentiell einem Maximum annähern. Bis auf zwei Kurven am Standort B3 (Insertion 1-3 und Insertion >20) haben alle Kurven signifikante Zusammenhänge mit den gemessenen Werten. Die Kurven zeigen ein rasches Blattwachstum in den ersten 8 bis 10 Tagen, danach flacht der Verlauf ab. Der Zeitpunkt, an dem die endgültige Blattgröße erreicht ist, ist aus den Daten schwer abzulesen. Er liegt offenbar im Bereich zwischen 30 bis 40 Tagen.

Es zeigte sich, dass die Blätter in den einzelnen Laubwandbereichen unterschiedliche Blattgrößen erreichen. Im Mittel über alle Standorte werden die größten Blattflächen in der Traubenzone und dem darüber inserierten Bereich bis zur 11. Blattinsertion erreicht. Auf den Standorten B3 und B4 haben die Blätter der Traubenzone (Insertion 4-6) die größten Blattflächen, gefolgt von den Blättern knapp oberhalb der Traubenzone (Insertion 7-11). Am Standort A2 (Dichtpflanzung mit schlanker, hoher Laubwand) verhält es sich umgekehrt. Hier erreichten die Blätter über der Traubenzone die größten Blattflächen, gefolgt von jenen aus der Traubenzone. Die Blätter der 12.-20. Insertion erreichen im Durchschnitt 2/3 der Größe der Blätter aus den Bereichen Traubenzone (A2) oder 7.-11. Insertion (B3 und B4). Etwa gleich groß mit ca. 60 % der maximalen Größe sind die Blätter der 1.-3. Insertion unterhalb der Traubenzone. Am kleinsten sind Haupttriebblätter oberhalb der 20. Insertion und Geiztriebblätter, beide erreichen im Durchschnitt nur 40 % der Blattgröße der größten Blätter am Trieb.

Die durchschnittlich größten Einzelblattflächen erzielten die Blätter der starkwüchsigen Rebstöcke am Standort A2, die kleinsten waren in der eher schwachwüchsigen Anlage B3 anzutreffen.

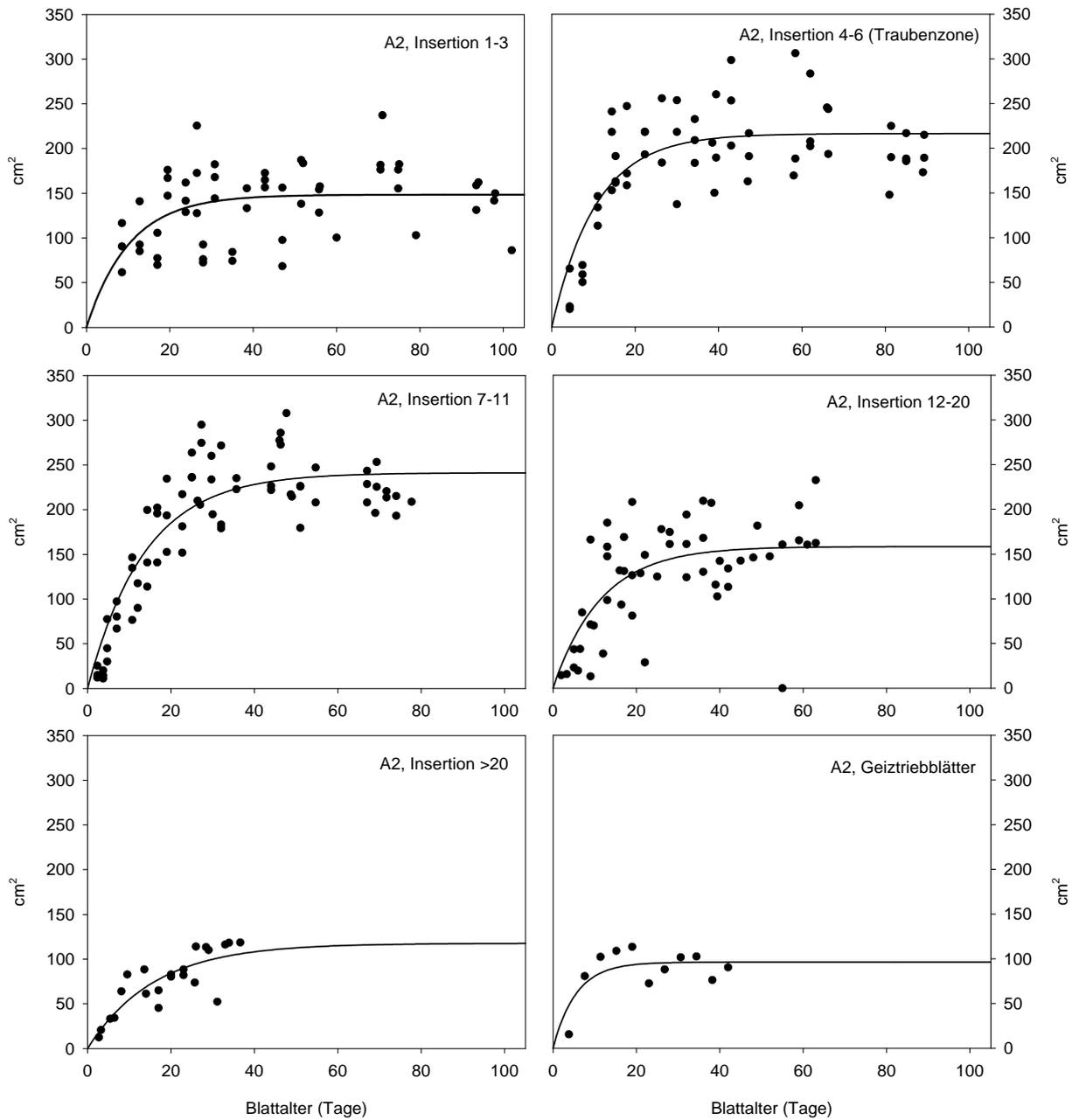


Abbildung 38: Blattgröße in Abhängigkeit von Blattalter und Insertionshöhe am Standort A2 im Jahr 2005 (Kurvenanpassungen: Insertion 1-3:  $r^2 = 0,160^{**}$  Insertion 4-6 (Traubenzone):  $r^2 = 0,591^{***}$ , Insertion 7-11:  $r^2 = 0,810^{***}$ , Insertion 12-20:  $r^2 = 0,432^{***}$ , Insertion >20:  $r^2 = 0,683^{***}$ , Geiztriebblätter:  $r^2 = 0,555^*$ )

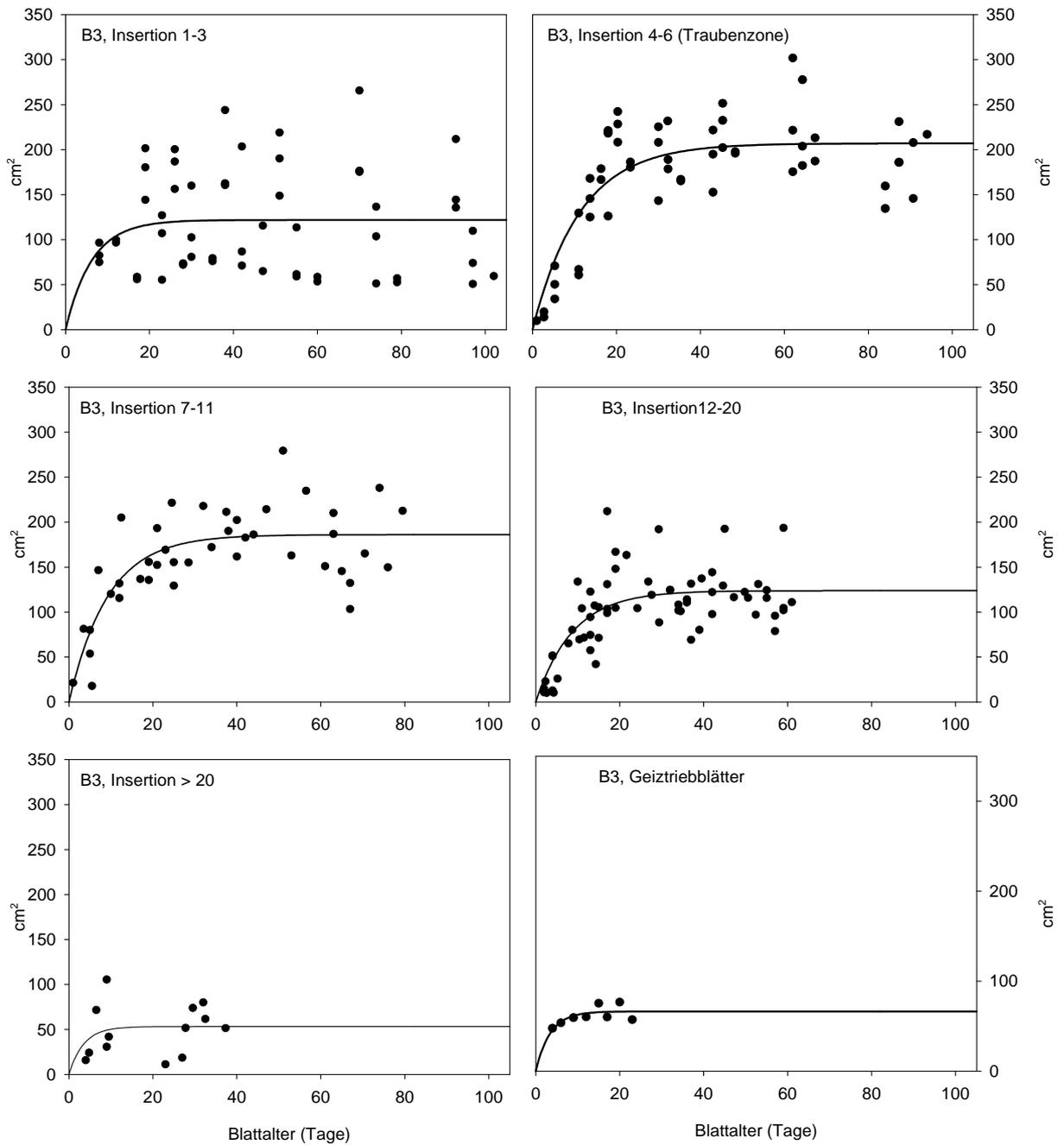


Abbildung 39: Blattgröße in Abhängigkeit von Blattalter und Insertionshöhe am Standort B3 im Jahr 2005 (Kurvenanpassungen: Insertion 1-3:  $r^2 = 0,025_{ns}$ ; Insertion 4-6 (Traubenzone):  $r^2 = 0,680_{***}$ , Insertion 7-11:  $r^2 = 0,573_{***}$ , Insertion 12-20:  $r^2 = 0,525_{***}$ , Insertion >20:  $r^2 = 0,080_{ns}$ , Geiztrieblätter:  $r^2 = 0,505_{*}$ )

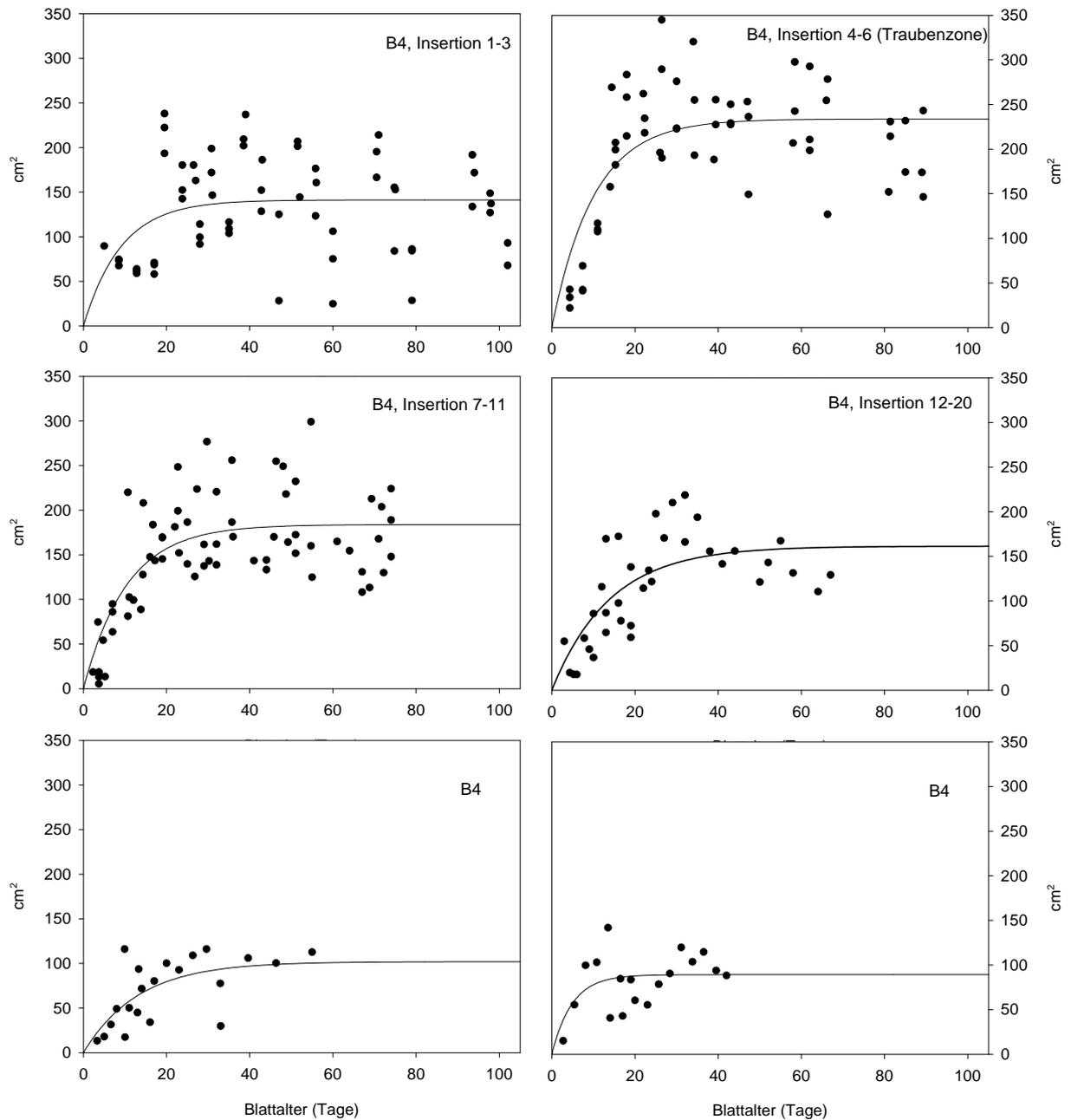


Abbildung 40: Blattgröße in Abhängigkeit von Blattnalter und Insertionshöhe am Standort B4 im Jahr 2005  
 (Kurvenanpassungen: Insertion 1-3:  $r^2 = 0,111^*$ ; Insertion 4-6 (Traubenzone):  $r^2 = 0,528^{***}$ ,  
 Insertion 7-11:  $r^2 = 0,532^{***}$ , Insertion 12-20:  $r^2 = 0,554^{***}$ , Insertion >20:  $r^2 = 0,455^{***}$ ,  
 Geiztriebblätter:  $r^2 = 0,253^*$ )

Tabelle 34: Einzelblattfläche bei einem Blattalter von 50 Tagen im Mittel der Standorte in Abhängigkeit der Insertionshöhe im Jahr 2005

Insertionsbereich	Blattfläche (cm <sup>2</sup> )			Mittelwert
	A2	B3	B4	
1-3.	147	122	141	137
4-6	214	205	232	217
7-11	235	185	182	201
12-20	156	123	157	145
>20	113	53	100	89
Geiztriebblätter	96	66	89	84

#### 4.3.5 Gaswechsel von Sonnen- und Schattenblättern unter natürlicher und künstlicher Belichtung

Die Messungen der Fotosyntheseleistung wurden, um den Einfluss wechselnder Belichtung auszuschließen, an allen Terminen unter standardisierten Bedingungen mit Hilfe des Lichtaufsatzes am Fotosynthesemessgerät durchgeführt. So hatten sowohl Lichtblätter als auch Schattenblätter bei der Messung das gleiche Lichtangebot. Um die Ergebnisse unter Zusatzbelichtung mit Messungen unter natürlichen Verhältnissen zu vergleichen, wurde an einem wolkenlosen Tag (24.06.05) die Messung zweimal, unter künstlichen und unter natürlichen Lichtverhältnissen, durchgeführt. Dadurch hatten die Schattenblätter bei der zweiten Messung unter natürlicher Beschattung ein geringeres Lichtangebot als bei den übrigen Messungen unter künstlicher Belichtung.

In den Abbildungen 41 bis 43 sind die Ergebnisse für die drei Standorte zusammengefasst. Die Laubwand wurde wie bei der Auswertung der Blattflächen in folgende vier Bereiche unterteilt: Basiszone (1.-3. Insertion), Traubenzone (4.-6. Insertion), Laubzone (7.-11. Insertion) und oberste Laubzone (12.-20. Insertion). In der jeweils linken Grafik der Abbildung ist die Messung unter natürlicher Belichtung dargestellt, auf der rechten Seite der Vergleich dazu unter künstlicher Belichtung. Für jeden Laubwandbereich sind der Mittelwert der Sonnen- und Schattenblätter angeführt.

Am Standort B3 wurden durch die dichte Laubwand und starke Laubglockenbildung der unterste Zonenbereich von den weiter oben inserierten Blättern so stark beschattet, dass in den ersten drei Insertionen nur Schattenblätter vorhanden waren. Bei den beiden anderen Standorten konnten demgegenüber in jedem Bereich sowohl Sonnen- als auch Schattenblätter gemessen werden.

Am Standort B3 (Abbildung 41) lag die Fotosyntheserate der Sonnenblätter bei natürlicher Belichtung zwischen  $13,70 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  im obersten Laubwandbereich und  $19,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  im mittleren. Die Schattenblätter hatten durch die niedrigere Strahlungsintensität in allen Laubwandbereichen eine signifikant niedrigere Fotosyntheserate, die nur zwischen  $2,20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  und  $5,10 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  lag. Das durchschnittliche Lichtangebot der besonnten Blätter lag bei  $1365 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , das Lichtangebot der Schattenblätter deutlich geringer bei  $323 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Bei der Messung unter gleichem Lichtangebot ( $1700 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) für Sonnen- und Schattenblätter hatten die Schattenblätter eine um ca. 25 % verringerte Fotosyntheseleistung, die Unterschiede waren allerdings nicht signifikant. Dennoch weist diese Verringerung auf die Anpassung der Schattenblätter an die Lichtverhältnisse hin, wodurch die hohen künstlichen Lichtintensitäten, denen sie unter normalen Umständen nicht ausgesetzt sind, nicht ausgenutzt werden können. Bei der Messung am Standort B3 fällt weiters auf, dass die Sonnenblätter unter natürlicher Belichtung eine höhere Fotosyntheseleistung haben als unter künstlicher Belichtung. Dies lässt sich vermutlich durch die wechselnde Temperatur und Tageszeit bei der Messung erklären. Die erste Messung unter natürlichen Lichtverhältnissen wurde am Morgen zwischen 08:30 und 09:30 durchgeführt, die zweite Messung mit Zusatzbelichtung hingegen zwischen

11:00 und 12:00. Daher bestanden bei der ersten Messung deutlich günstigere Verhältnisse für die Fotosynthese: Die Blattemperatur war mit durchschnittlich 28° C um fast 5° C geringer als bei der Messung zu Mittag (33° C), und so konnten die Blätter noch höhere Leistungen erbringen als bei der zweiten Messung zu Mittag.

Am Standort B4 (Abbildung 42) hatten die Schattenblätter bei natürlichen Lichtverhältnissen in den unteren drei Bereichen eine signifikant geringere Fotosyntheseleistung als die Lichtblätter. Die Reduktion der Schattenblätter gegenüber den Sonnenblättern lag zwischen 30 % in den unteren Bereichen und 40 % in der mittleren Zone. Im obersten Laubwandbereich zeigen die Schattenblätter ca. 50 % der Leistung der Sonnenblätter, die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Bei künstlicher Belichtung ist auf dem Standort B4 der Unterschied in der Fotosyntheseleistung zwischen Schattenblättern und Sonnenblättern geringer als am Standort B3, es konnten in keinem Laubwandbereich signifikante Unterschiede festgestellt werden. Eine deutliche Tendenz ist nur in den unteren beiden Bereichen (Insertion 1-3 und Insertion 4-6) zu beobachten, bei den oberen beiden Bereichen (Insertion 7-11 und 12-20) besteht bei gleicher Belichtung kein Unterschied in der Fotosyntheseleistung zwischen Sonnen- und Schattenblättern. Dies könnte darauf hinweisen, dass durch die im Vergleich zum Standort B3 lockere Laubwandstruktur die Blätter der oberen Laubwandbereiche nie den ganzen Tag über im Schatten sind, sondern zu einer anderen Tageszeit besonnt werden, sodass hier keine Anpassung an geringere Belichtung stattgefunden hat. Weiters sind die Werte für die Sonnenblätter bei den Messungen mit und ohne Zusatzbelichtung wie auch beim folgenden Standort A2 ähnlich. Bei beiden Standorten (A2 und B4) bestand nicht das Problem von sich ändernden Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) zwischen den beiden Messungen wie am Standort B3.

Am Standort A2 (Abbildung 43) erbrachten die Schattenblätter bei natürlichen Bedingungen 32-45 % der Fotosyntheseleistung der Sonnenblätter. Bei gleicher Belichtung betrug die Fotosyntheseleistung der Schattenblätter im unteren und den beiden mittleren Laubwandbereichen (Insertionen 1-3, 4-6 und 7-11) 65-75 % der Leistung der Sonnenblätter. Bei den beiden mittleren Laubwandbereichen (Insertion 4-6 und 7-11) waren die Unterschiede sowohl bei natürlicher Besonnung als auch bei Zusatzbelichtung signifikant. Bei den 12.-20. obersten Insertionen bestand bei gleichem Lichtangebot kein Unterschied zwischen Sonnen- und Schattenblättern. Auch dies lässt darauf schließen, dass im oberen Bereich zu diesem Zeitpunkt noch alle Blätter im Laufe des Tages einmal besonnt werden, sodass noch keine dauerhafte Anpassung an Schattenverhältnisse erfolgt ist, wie dies bei den Blättern des unteren Bereichs zu beobachten war.

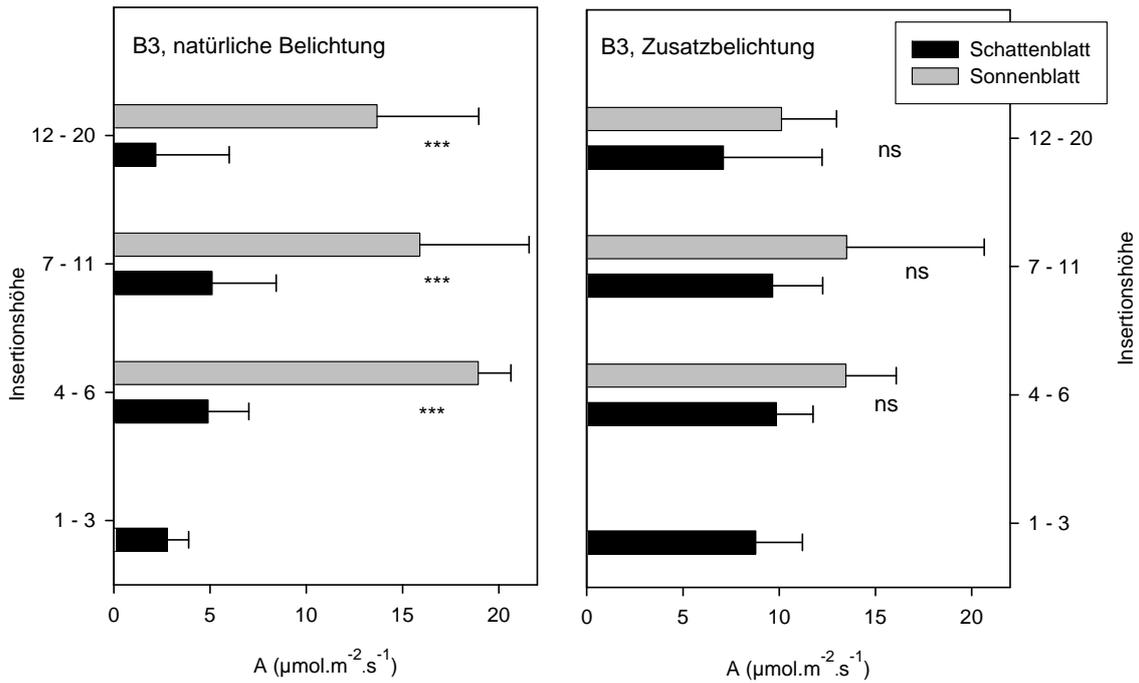


Abbildung 41: Fotosyntheseleistung (A) von Sonnen- und Schattenblättern unterschiedlicher Insertionshöhen bei natürlicher Belichtung (links) und künstlicher Belichtung (rechts) am Standort B3

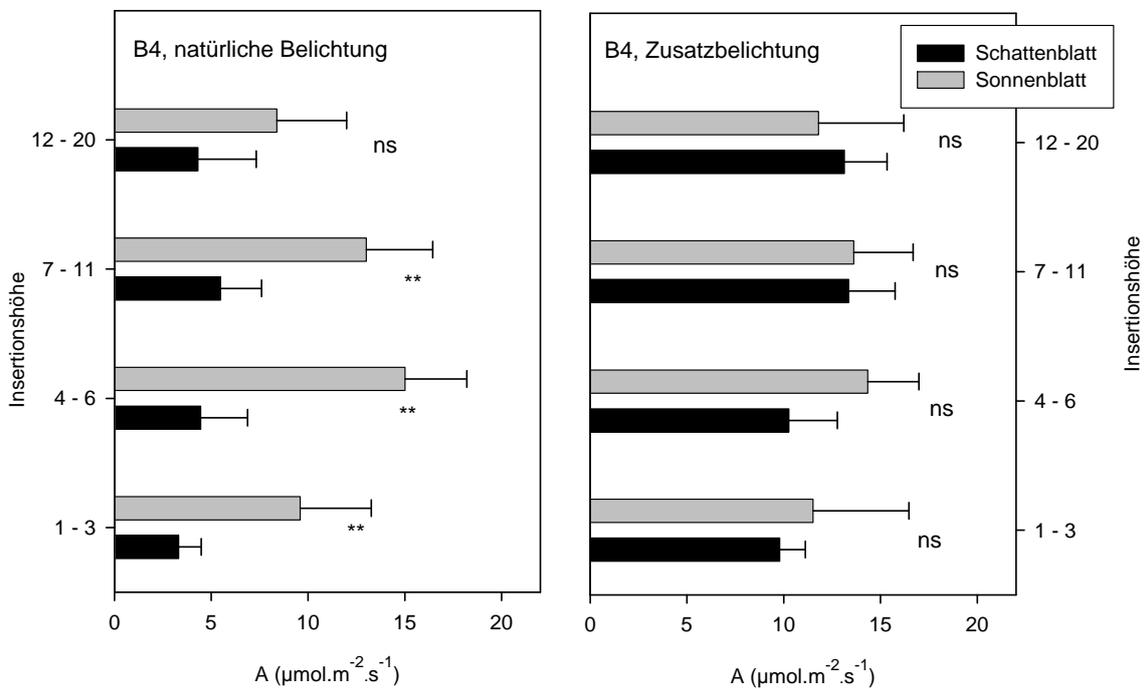


Abbildung 42: Fotosyntheseleistung (A) von Sonnen- und Schattenblättern unterschiedlicher Insertionshöhen bei natürlicher Belichtung (links) und künstlicher Belichtung (rechts) am Standort B4

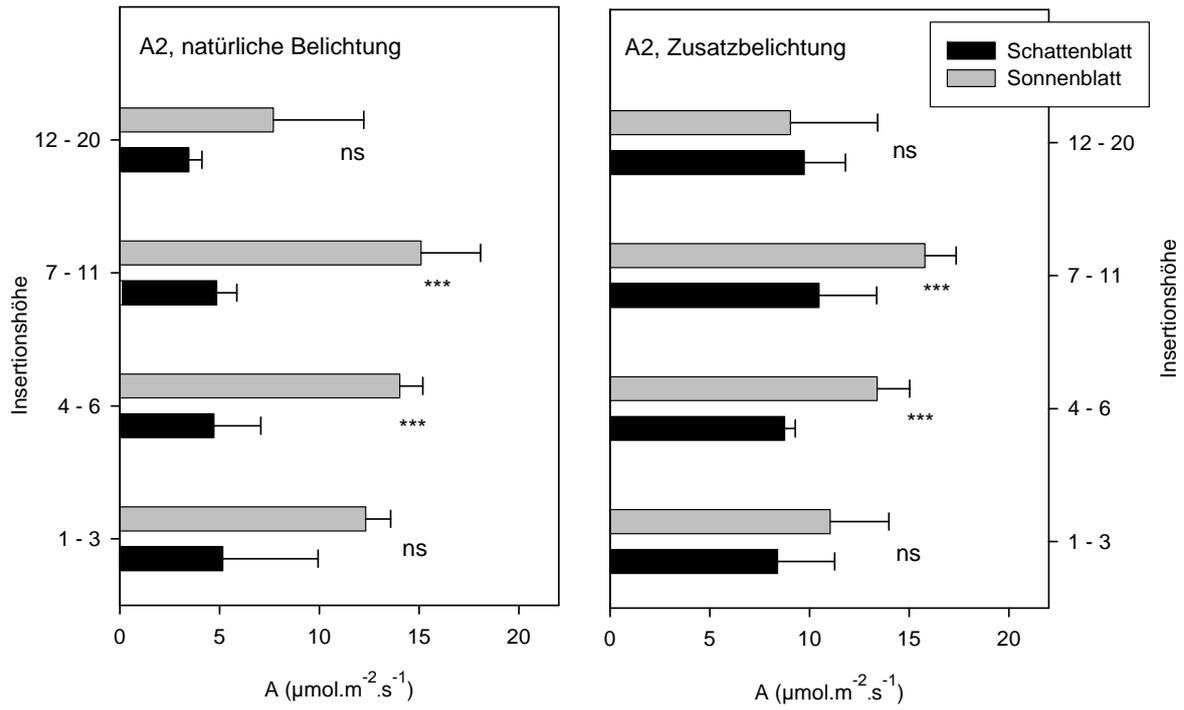


Abbildung 43: Fotosyntheseleistung (A) von Sonnen- und Schattenblättern unterschiedlicher Insertionshöhen bei natürlicher Belichtung (links) und künstlicher Belichtung (rechts) am Standort A2

## **4.4 Gaswechsel von Blättern unterschiedlicher Laubwandzonen in Abhängigkeit von Bewässerungsvarianten und Laubwandhöhe**

Der Einfluss von Bewässerungsvarianten und unterschiedlicher Laubwandhöhe auf die Gaswechselleistung der Blätter aus dem unteren, mittleren und oberen Laubwandbereich wurde in den Jahren 2004 und 2005 an den drei Standorten A2, B3 und B4 gemessen. Im Jahr 2004 wurden die Messungen an einem Termin während der Reife durchgeführt, im Jahr 2005 an vier Terminen während der gesamten Vegetationsperiode.

### **4.4.1 Gaswechsel bei unterschiedlicher Laubwandhöhe**

Am Standort A2 wurde der Gaswechsel in Abhängigkeit von der Laubwandhöhe gemessen. Bei der künstlich verlängerten Laubwand wurde zusätzlich zu den drei Laubwandbereichen (unten, mitte und oben), auch die verlängerte Spitzenregion gemessen, sobald die Triebe (ab Mitte Juli) die entsprechende Trieb länge erreicht hatten.

#### Ergebnisse 2004

Bei der Messung am 06.09.2004 zeigte sich, dass die Fotosyntheseleistung der Blätter aus der Laubwand mit normaler (betriebsüblicher) Laubwandhöhe in der mittleren und oberen Laubwandzone die höchste Fotosyntheseleistung hatte (Abbildung 44). Sowohl die Blätter der verkürzten als auch der verlängerten Laubwand hatten niedrigere Fotosyntheseraten. Dieses Ergebnis konnte allerdings bei keiner der nachfolgend beschriebenen Messungen im Folgejahr 2005 wiederholt werden, und ist auch nicht eindeutig erklärbar, da kaum Unterschiede in den Umweltbedingungen (Licht, Temperatur oder Luftfeuchtigkeit) auftraten. Mögliche Ursachen für die leicht verminderten Fotosyntheseraten sind einerseits die etwas erhöhte Temperatur in der verkürzten Laubwand gegenüber der betriebsüblichen, sowie der höhere Krankheitsdruck in der verlängerten Laubwand, auch in der untersten Laubwandzone hatten die Blätter der betriebsüblichen Laubwandhöhe tendenziell die höchsten Fotosyntheseraten, die Unterschiede sind jedoch nicht statistisch signifikant. Bei der stomatären Leitfähigkeit und der Water Use Efficiency (WUE) bestehen keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten.

Unabhängig von den Versuchsvarianten kann man erkennen, dass Fotosyntheseleistung und stomatäre Leitfähigkeit von dem untersten Laubwandbereich zum obersten zunehmen. Die Water Use Efficiency ist hingegen in allen drei Laubwandbereichen gleich hoch.

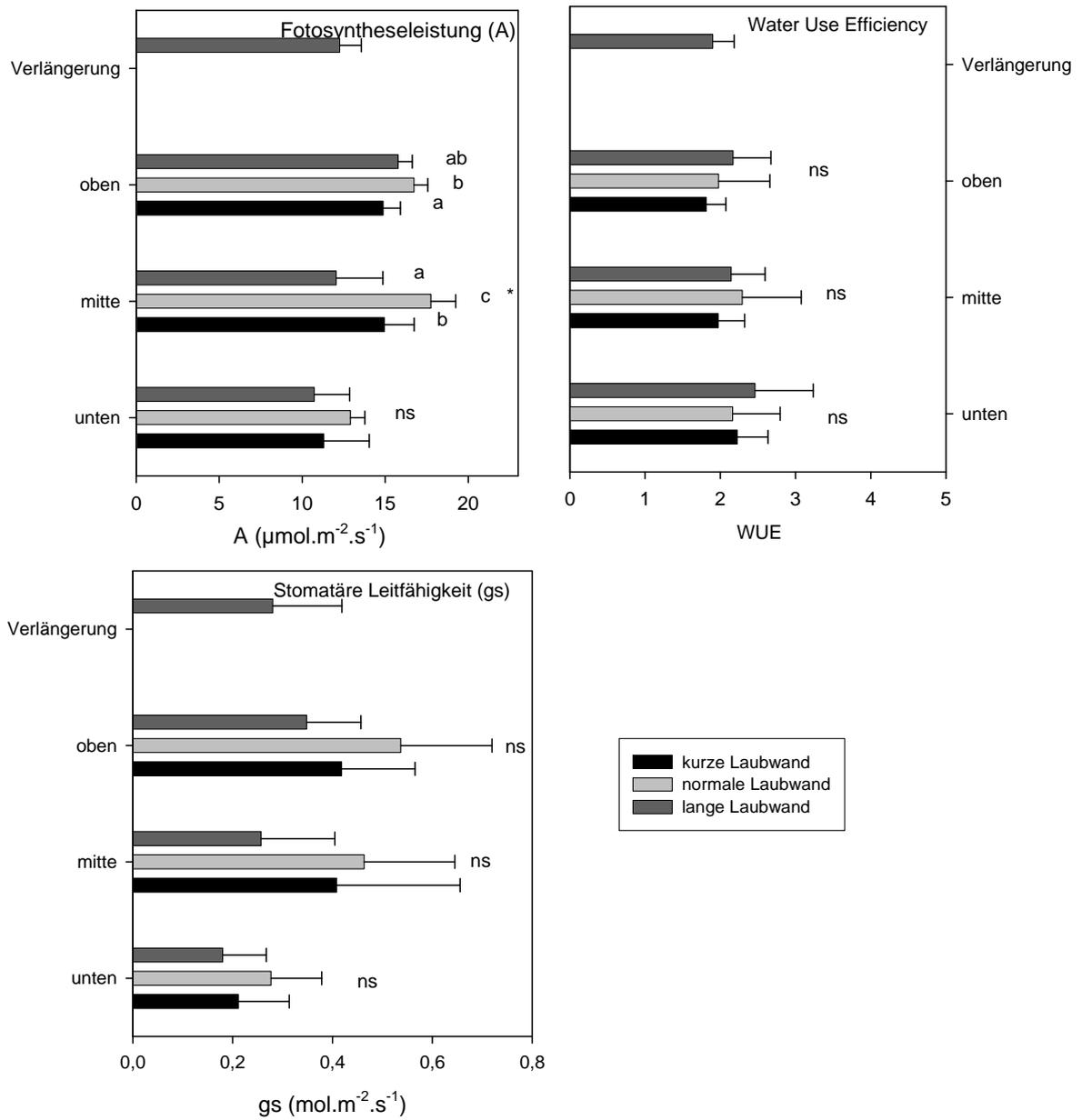


Abbildung 44: Fotosyntheseleistung (A), Water Use Efficiency (WUE) und Stomatäre Leitfähigkeit (gs) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit der Laubwandhöhe am Standort A2 am 06.09.04

## Ergebnisse 2005

Die Messungen 2005 am Standort A2 wurden an vier Terminen (kurz nach der Blüte, zu Traubenschluss, nach Reifebeginn und zur Beerenreife) durchgeführt. Bei der ersten Messung kurz nach der Blüte waren die wachsenden Triebe in allen drei Varianten (kurze Laubwand, normale Laubwand und lange Laubwand) noch gleich lang, daher bestanden auch keine Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsvarianten. Außerdem war zu sehen, dass bei allen drei Varianten die Blätter der obersten Laubwandzone eine geringere Fotosyntheseleistung hatten als die Blätter der mittleren Zone, da sie noch nicht vollständig ausgebildet waren.

Differenzen in der Fotosyntheseleistung zeigten sich jedoch am zweiten, dritten und vierten Termin im untersten Laubwandbereich (1. bis 4. Blattinsertion), und am 3. Termin auch in der mittleren Zone (5. bis 9. Blattinsertion).

Beim zweiten und dritten Termin hatten in der untersten Laubwandzone jeweils die Blätter der langen Laubwand die geringste Fotosyntheseleistung und die der kurzen Laubwand die höchste (Abbildung 45). Am 11.08.05 (3. Messtermin) hatten auch im mittleren Laubwandbereich die Blätter der langen Laubwand die geringste Fotosyntheserate. Ein möglicher Grund dafür ist, dass durch die Dichtpflanzung auf dem Standort A2 die Blätter der untersten Laubwandzone in der langen Laubwand am meisten beschattet wurden, während bei der kurzen Laubwand auch die Blätter der untersten Zone (1. bis 4. Insertion) volle Sonneneinstrahlung erhielten und daher eine höhere Fotosyntheserate hatten. In allen Varianten kam es beim zweiten Termin bei den Blättern im untersten Laubwandbereich zu einer leichten Abnahme der Fotosyntheseleistung gegenüber dem mittleren Laubwandbereich. Bei der langen Laubwand war diese Reduktion am stärksten ausgeprägt, bei der kurzen Laubwand am schwächsten.

Am vierten Termin konnten die Blätter der untersten Laubwandzone nicht mehr gemessen werden, da die Traubenzone betriebsbedingt stark entblättert worden war. Im mittleren Laubwandbereich hatten, anders als bei den vorigen Terminen, unerwartet die Blätter aus der langen Laubwand die höchste Fotosyntheseleistung, während sich die Blätter der normalen und verkürzten Laubwand nicht voneinander unterschieden. Unabhängig von der Variante war zu sehen, dass die Blätter der mittleren Laubwandzone die höchste Fotosyntheseleistung hatten, die Blätter oberhalb, sowohl Haupttriebblätter als auch Geiztriebblätter zeigten alle eine etwas niedrigere Fotosyntheseleistung.

Die WUE wurde nur am dritten und vierten Messtermin ab Reifebeginn und nur in der jeweils untersten Laubwandzone von den Versuchsvarianten beeinflusst (Abbildung 46). An diesen beiden Terminen hatten die Blätter der verlängerten Laubwand, die höchste WUE im Vergleich zu der betriebsüblichen und der verkürzten Laubwand. Die Gründe für die Verbesserung der WUE dürften einerseits in der stärkeren Beschattung der unteren Laubwandbereiche durch die verlängerte Laubwand liegen, die auch zu einer Verminderung in der Fotosyntheserate geführt hatte. Außerdem war durch die verlängerte Laubwand die Luftzirkulation in den unteren Laubwandbereichen etwas

herabgesetzt und die Luftfeuchtigkeit höher, wodurch ein geringerer Verdunstungsbedarf bestand. Ansonsten bestand kein Unterschied zwischen den Versuchsvarianten.

Auffallend ist auch die hohe WUE am ersten Termin, bei dem die Messungen im Gegensatz zu den anderen drei Messterminen bei moderaten Temperaturen am Morgen durchgeführt worden waren.

Die stomatäre Leitfähigkeit ( $g_s$ ) der Blätter wurde in einzelnen Insertionshöhen ebenfalls durch die Versuchsvariante Laubwandhöhe beeinflusst (Abbildung 47). Am zweiten und dritten Termin hatte im unteren und am dritten Termin auch im mittleren Bereich die kurze Laubwand jeweils die höchste  $g_s$ , während die lange Laubwand die kleinste  $g_s$  zeigte. Die höhere  $g_s$  in den unteren Bereichen der kurzen Laubwand gingen, wie vorher gezeigt, auch mit hohen Fotosyntheseraten einher und dürften vor allem durch die bessere Belichtung bedingt gewesen sein. In den oberen Bereichen, wo vergleichbare Lichtverhältnisse herrschten, gab es an diesen beiden Terminen keine Unterschiede zwischen den Varianten. Am letzten Termin schwankten die Werte stärker, es zeigte sich allerdings, dass im oberen Laubwandbereich wieder die kurze Laubwand die höchste stomatäre Leitfähigkeit aufwies.

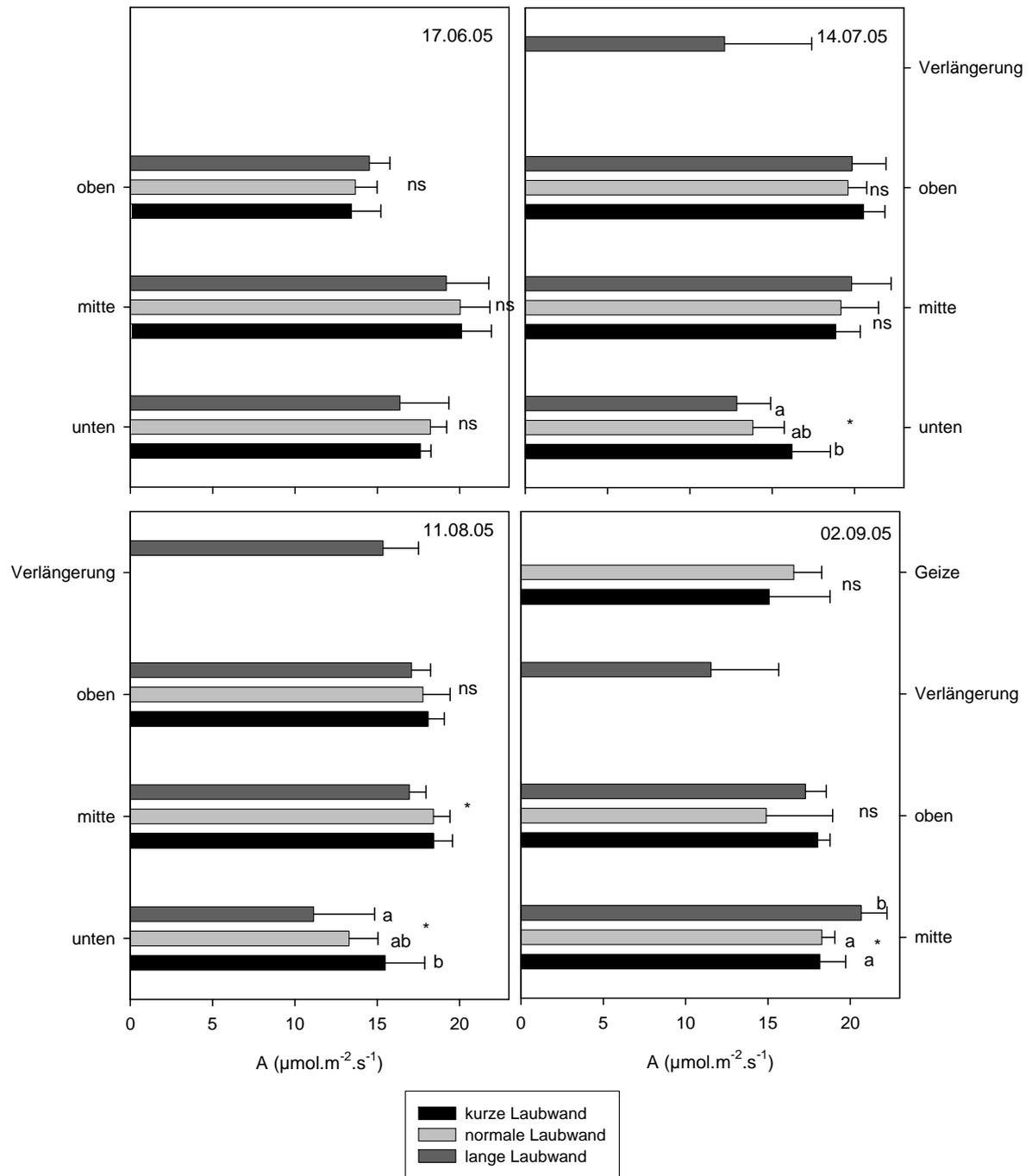


Abbildung 45: Fotosyntheseleistung (A) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit der Laubwandhöhe am Standort A2, 2005

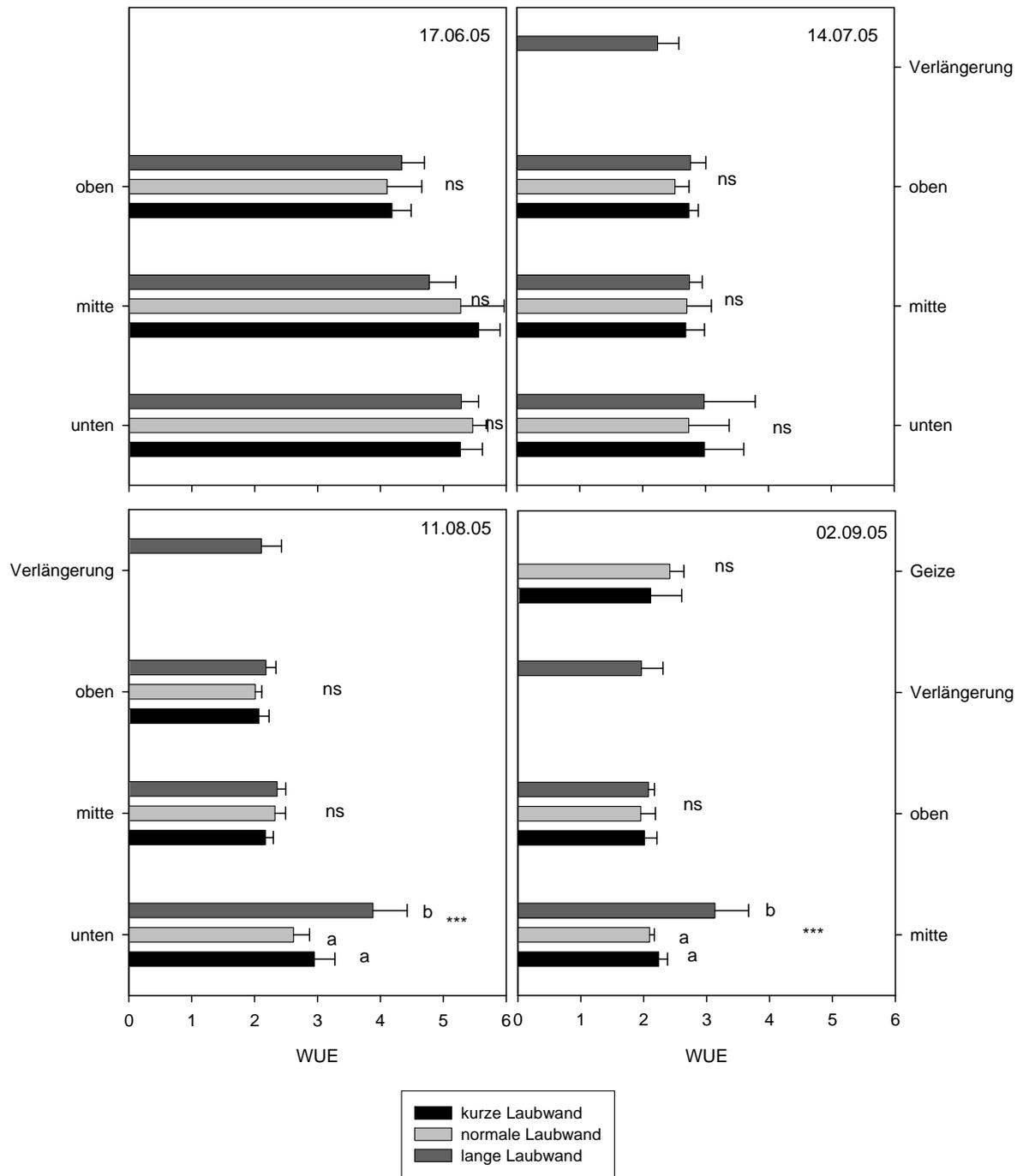


Abbildung 46: Water Use Efficiency (WUE) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit der Laubwandhöhe am Standort A2, 2005

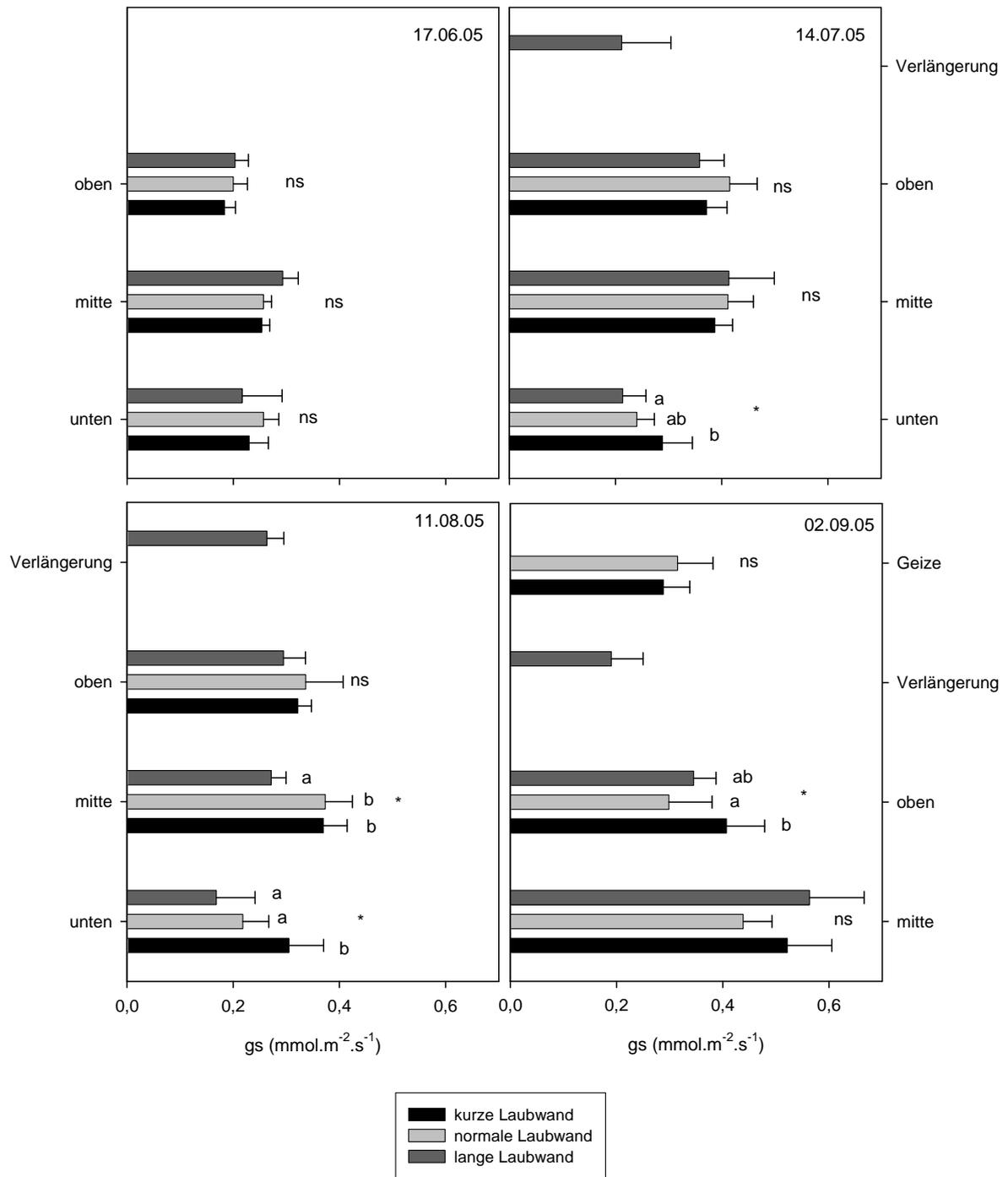


Abbildung 47 Stomatäre Leitfähigkeit (gs) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit der Laubwandhöhe am Standort A2, 2005

#### **4.4.2 Gaswechsel in Abhängigkeit der Bewässerung**

##### Ergebnisse 2004

Im Jahr 2004 wurde am 06.09.2004 auf der Rebfläche B3 die Gaswechselleistung in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten (normal bewässert, nicht bewässert und doppelt bewässert) in der unteren (1. bis 4. Blattinsertion), mittleren (5. bis 8. Blattinsertion) und oberen Laubwandzone (9. bis 12. Blattinsertion) gemessen (Abbildung 48). Bei der Messung, die relativ spät in der Vegetation, bereits während der Beerenreife, stattfand, zeigte sich, dass die stomatäre Leitfähigkeit und die Fotosyntheseleistung durch die Bewässerungsvariante signifikant beeinflusst wurden. In allen drei Laubwandzonen waren sowohl Fotosyntheseleistung als auch stomatäre Leitfähigkeit der nicht bewässerten Variante am signifikant niedrigsten. Sie erbrachten nur ca. 30 % der Fotosyntheseleistung der Blätter der normal bewässerten Reben. Die doppelt bewässerte Variante unterschied sich nicht signifikant von der normal bewässerten, es lässt sich aber die Tendenz erkennen, dass sie eine geringfügig höhere Fotosyntheserate und stomatäre Leitfähigkeit hatte.

Bei der Water Use Efficiency bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten, tendenziell hatte aber die nicht bewässerte Variante eine etwas höhere WUE als die doppelt bewässerte Variante.

Auch die Position der Blätter in den drei Laubwandzonen unten, mitte und oben wirkte sich signifikant auf Fotosynthese und stomatäre Leitfähigkeit aus, nicht aber auf die WUE, die über die gesamte Laubwandhöhe gleich hoch war. Unabhängig von der Bewässerungsvariante zeigte sich bei Fotosynthese und stomatärer Leitfähigkeit eine deutliche Zunahme des Gaswechsels von der unteren zu der oberen Laubwandzone. Eine ähnliche Zunahme der Fotosyntheseleistung vom unteren zum mittleren Laubwandbereich war bereits bei der Messung des Tagesganges der Fotosyntheseleistung auf diesem Standort Anfang August beobachtet worden.

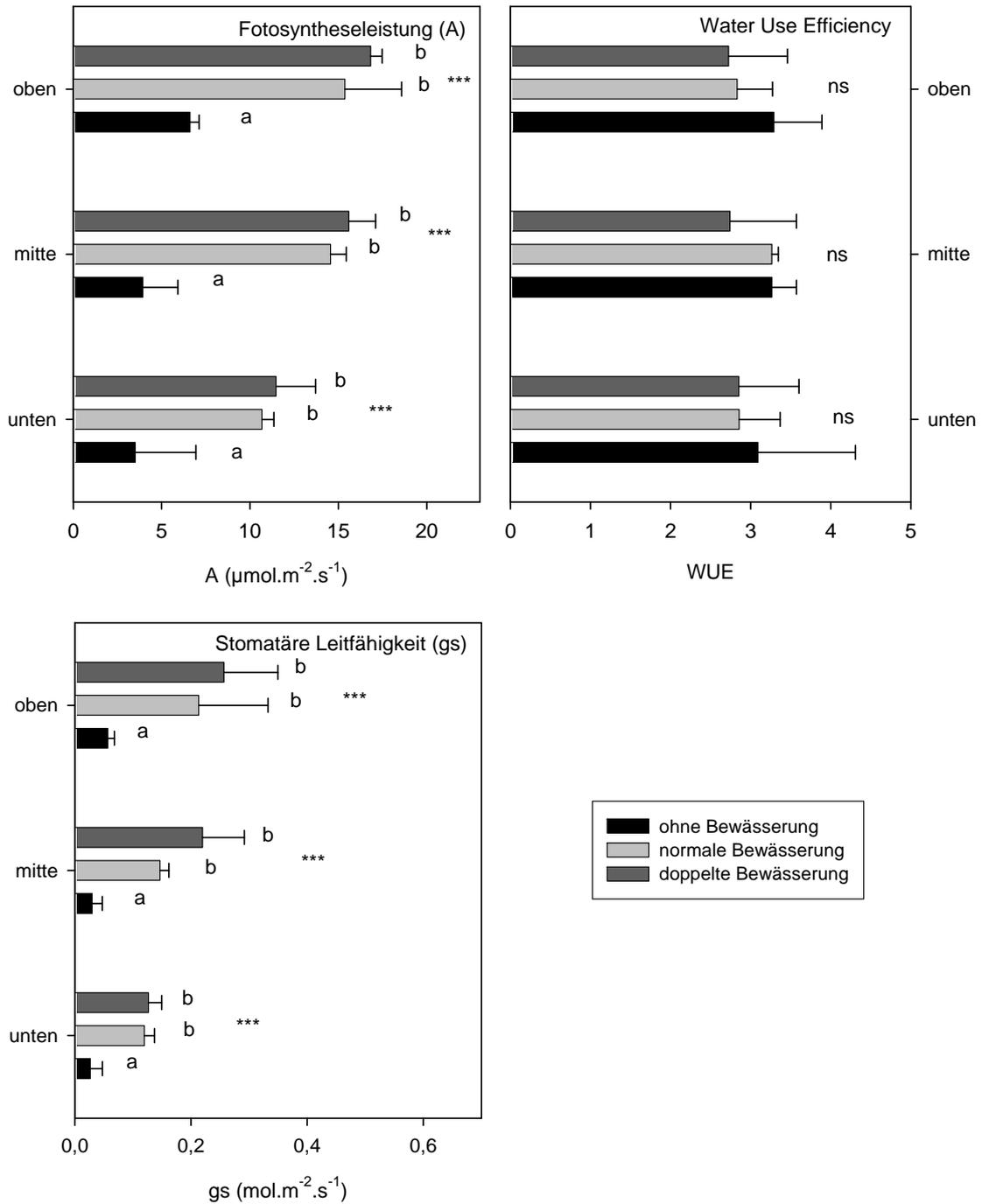


Abbildung 48: Fotosyntheseleistung (A), Water Use Efficiency (WUE) und Stomatäre Leitfähigkeit (gs) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B3, am 06.09.04

## Ergebnisse 2005

Im Jahr 2005 wurden an den Standorten B3 und B4 die bewässerungsabhängigen Messungen zu den Terminen kurz nach der Blüte, zu Traubenschluss, nach Reifebeginn und zur Beerenreife durchgeführt.

Die Fotosyntheseleistung wurde zu keinem Termin durch die unterschiedliche Bewässerung signifikant beeinflusst (Abbildungen 49 und 52). Dieses Ergebnis stimmt mit den Messungen der Tagesgänge der Fotosyntheseleistung am Standort B3 im Jahr 2005 überein, die ebenfalls keine Unterschiede in der Fotosyntheseleistung zwischen den Bewässerungsvarianten zeigten. Die Fotosyntheseleistung lag an beiden Standorten zu allen vier Terminen relativ hoch. Sogar Anfang September wurde am Standort B3 von den Blättern der untersten Laubwandzone noch eine Fotosyntheserate von  $15,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  erreicht. Der Hauptgrund für die hohe Fotosyntheserate entlang des Triebes während der gesamten Saison dürfte die ausreichende Wasserversorgung durch die natürlichen Niederschläge im Jahr 2005 gewesen sein. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Wasserpotenzialmessungen und den Messungen der Fotosyntheseleistung im Tagesverlauf am Standort B3, die ebenfalls eine ausreichende Wasserversorgung aufzeigten. Der Vergleich mit den Ergebnissen des Vorjahres unterstreicht den deutlichen Einfluss von Trockenstress. 2004 waren durch die anhaltend trockene Witterung die Fotosyntheseraten Anfang September trotz Bewässerung auf  $3,00\text{-}10,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  in der untersten Laubwandzone gefallen.

Auch zwischen den einzelnen Laubwandzonen gab es unabhängig von der Bewässerung 2005 nur geringe Unterschiede in der Fotosyntheseleistung. Am ersten Termin zur Blüte war die Fotosyntheseleistung des obersten Laubwandbereichs noch etwas niedriger als bei der mittleren und unteren Zone. Wie die Messungen der Fotosyntheseleistung jedes Blattes am Trieb zeigten, hatten zum Zeitpunkt der Blüte die Blätter der Traubenzone die höchste Fotosyntheserate, während die jungen, wachsenden Blätter an der Triebspitze geringere Leistungen erbrachten. Von der zweiten (Traubenschluss) bis zur vierten (Beerenreife) Messung lag die Fotosyntheseleistung in der obersten Zone tendenziell etwas höher, es war aber nur ein sehr geringer Abfall der Leistung in der untersten Zone zu sehen. Auch dies entspricht den übrigen Ergebnissen aus dem Jahr 2005, die zeigten, dass die Blätter bei guter Wasser- und Lichtversorgung über einen langen Zeitraum eine hohe Leistungsfähigkeit erhalten können. Am Standort B4 war der Rückgang der Fotosyntheserate im untersten Laubwandbereich Mitte August und Ende September etwas stärker ausgeprägt, dies dürfte aber eher auf die niedrige Kaliumversorgung zurückzuführen sein.

Am Standort B4 unterschieden sich stomatare Leitfähigkeit und WUE der Bewässerungsvarianten statistisch nicht voneinander (Abbildungen 53 und 54). Am Standort B3 gab es zu einzelnen Terminen signifikante Unterschiede bei stomatarer Leitfähigkeit und WUE durch die Zusatzbewässerung (Abbildungen 50 und 51). Am letzten Termin Anfang September war die WUE im mittleren Laubwandbereich in der nicht bewässerten Variante am höchsten, die gleiche Tendenz bestand auch

im unteren Laubwandbereich, jedoch war hier die Streuung sehr groß. Im Gegensatz zur Fotosyntheserate wurde die WUE durch die Insertionshöhe kaum beeinflusst.

Die stomatäre Leitfähigkeit lag auf beiden Standorten zu allen vier Terminen im Jahr 2005 unabhängig von der Bewässerungsvariante mit 0,19 bis 0,28 mol.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> relativ hoch. Bei der Messung Mitte August ergab die Varianzanalyse der Daten am Standort B3 schwach signifikante Unterschiede im obersten Bereich, die allerdings beim Mittelwertsvergleich nach Student-Newman-Keul's nicht signifikant waren. Am letzten Termin gab es am Standort B3 ebenfalls schwach signifikante Unterschiede im mittleren Laubwandbereich, wobei die normal bewässerte Variante die höchste stomatäre Leitfähigkeit aufwies. Am Standort B4 bestanden zu keinem Termin statistisch signifikante Differenzen in der stomatären Leitfähigkeit zwischen den Bewässerungsvarianten.

Die stomatäre Leitfähigkeit verhielt sich in den einzelnen Laubwandzonen ähnlich wie die Fotosyntheserate. Bei der ersten Messung war  $g_s$  der jungen Blätter in der obersten Zone noch etwas geringer als in der Mitte und unten. Im August und Anfang September lag die stomatäre Leitfähigkeit der älteren Blätter der untersten Zone geringfügig niedriger als in der Mitte, im oberen Bereich wurden die höchsten Werte erzielt.

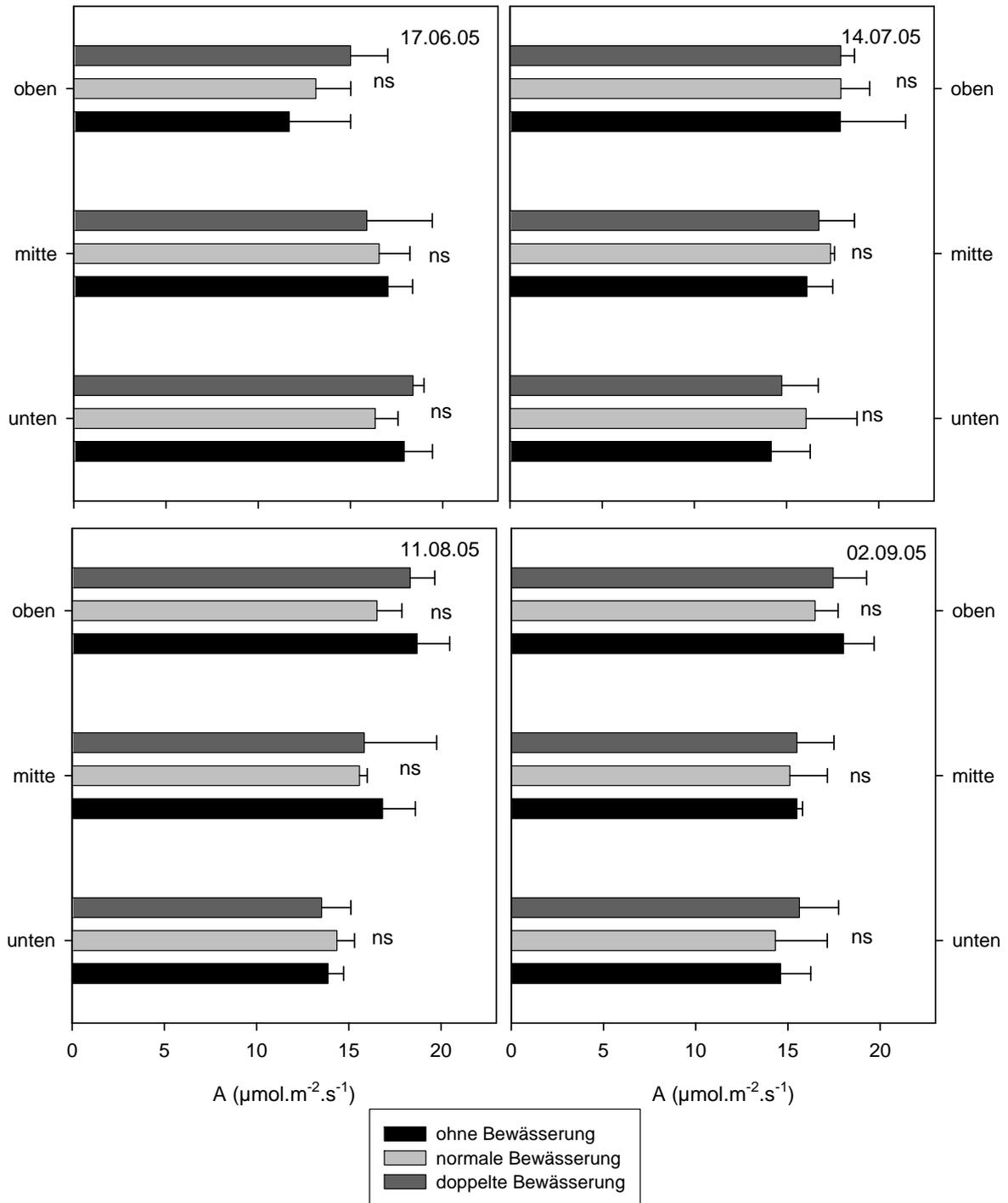


Abbildung 49: Fotosyntheseleistung (A) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B3, 2005

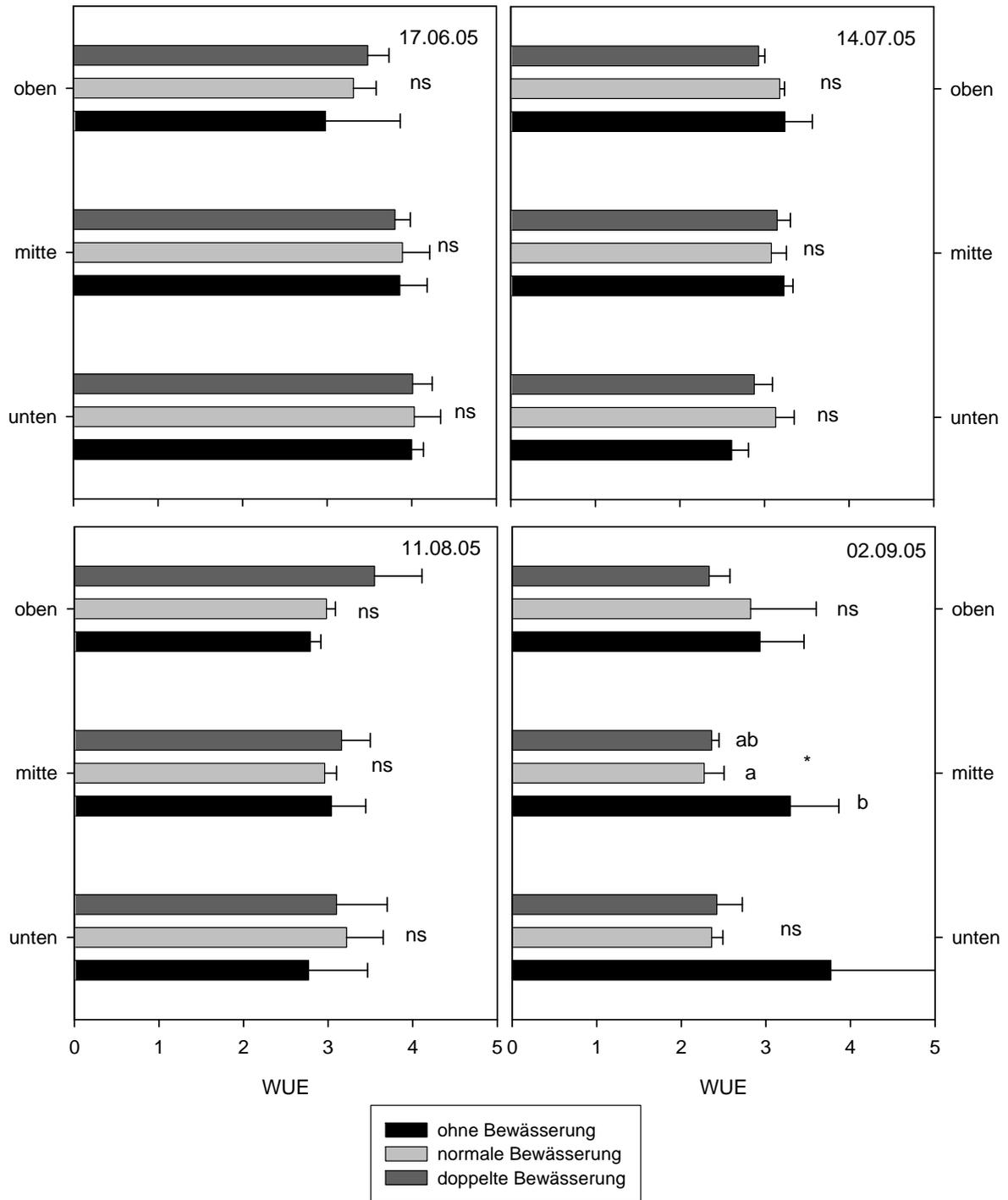


Abbildung 50: Water Use Efficiency (WUE) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B3, 2005

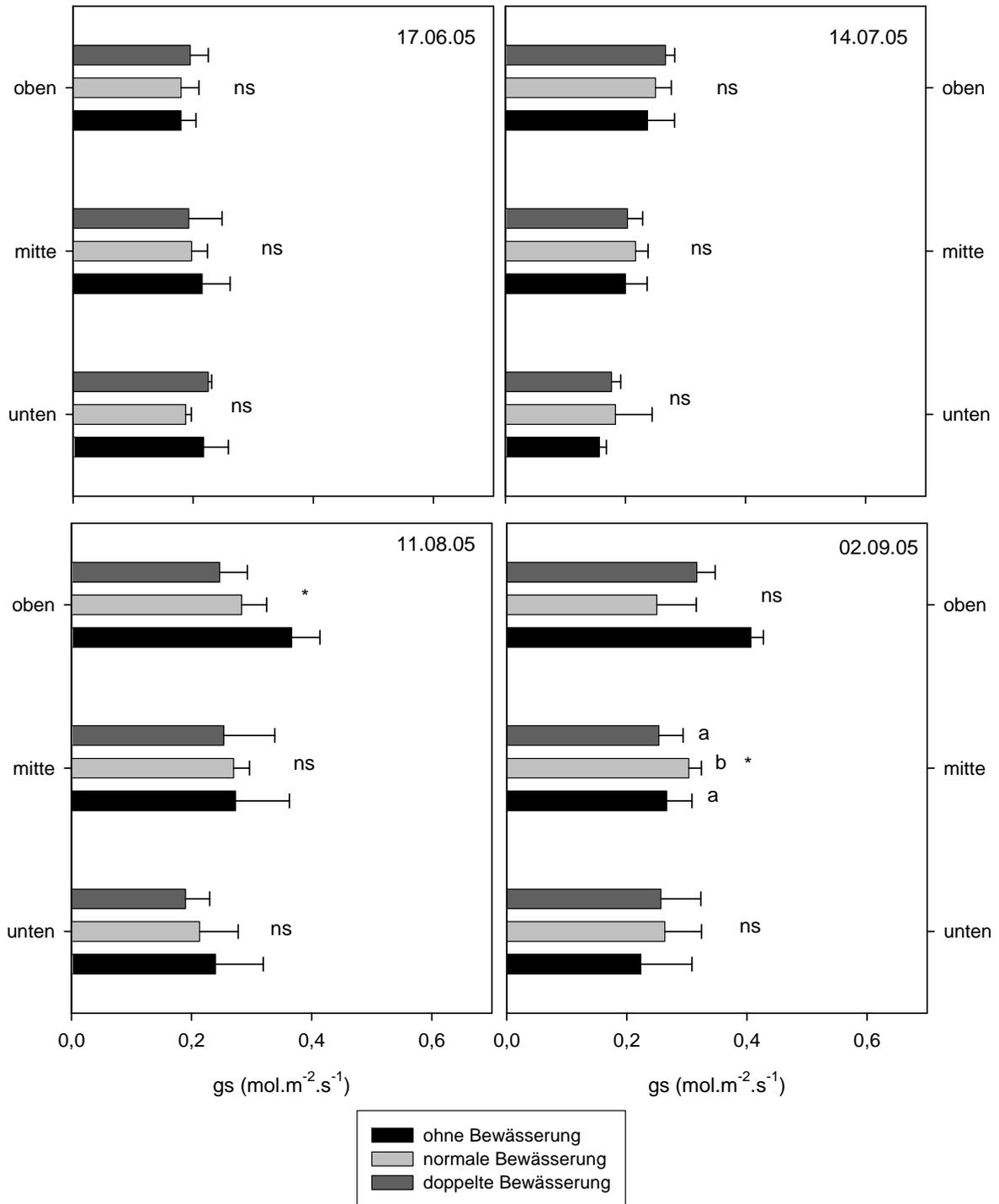


Abbildung 51: Stomatäre Leitfähigkeit (gs) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B3, 2005

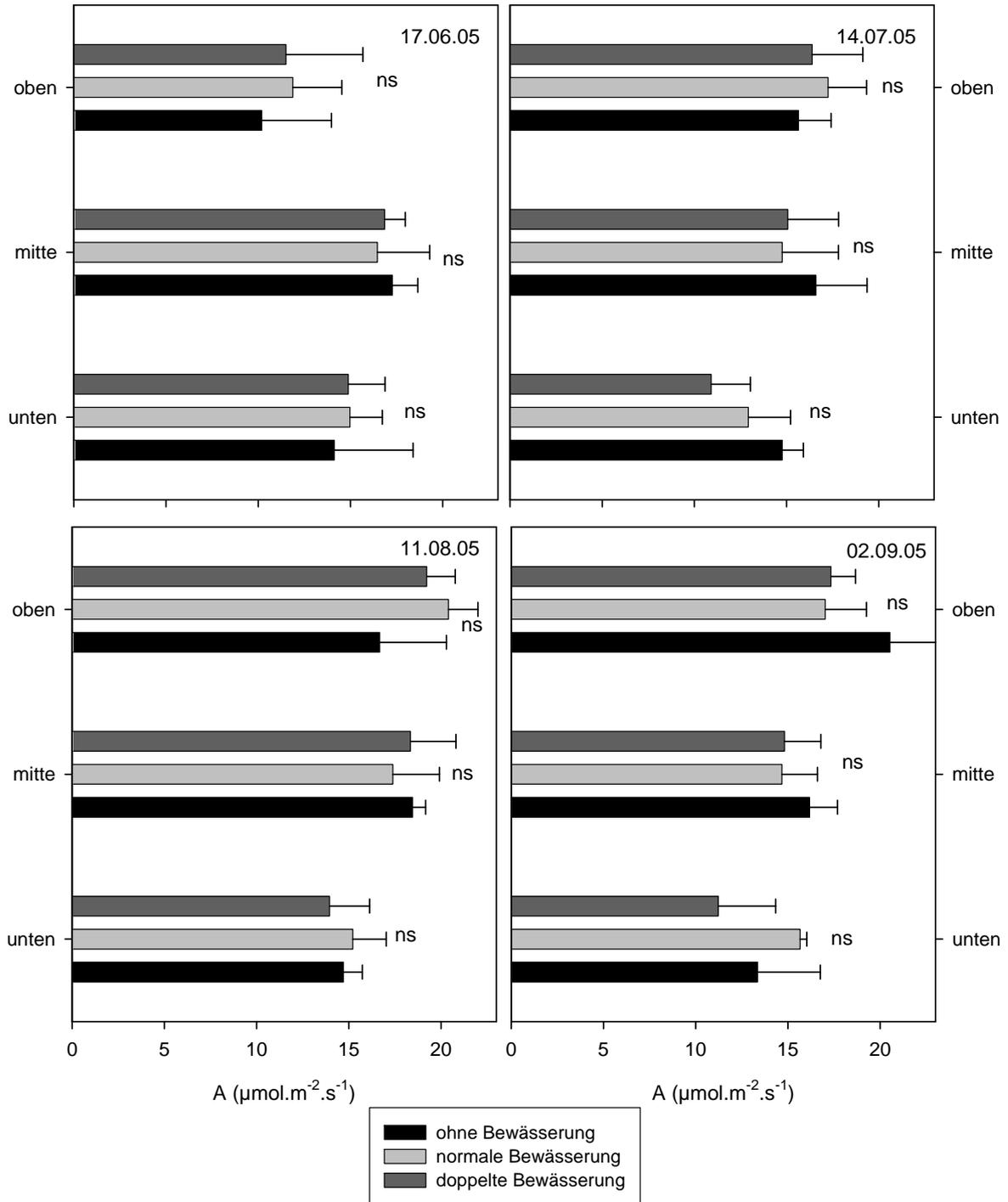


Abbildung 52: Fotosyntheseleistung (A) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B4, 2005

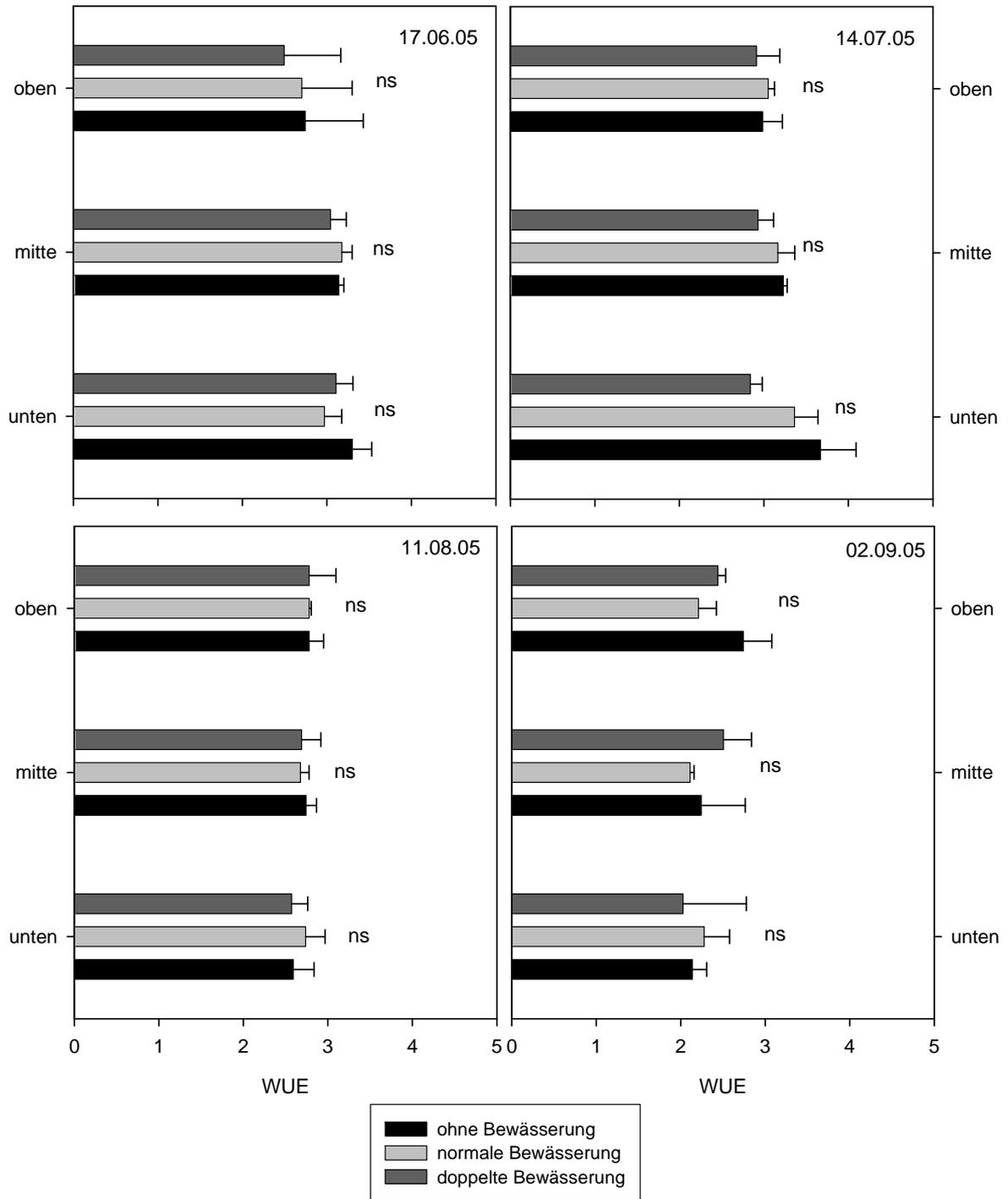


Abbildung 53: Water Use Efficiency (WUE) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B4, 2005

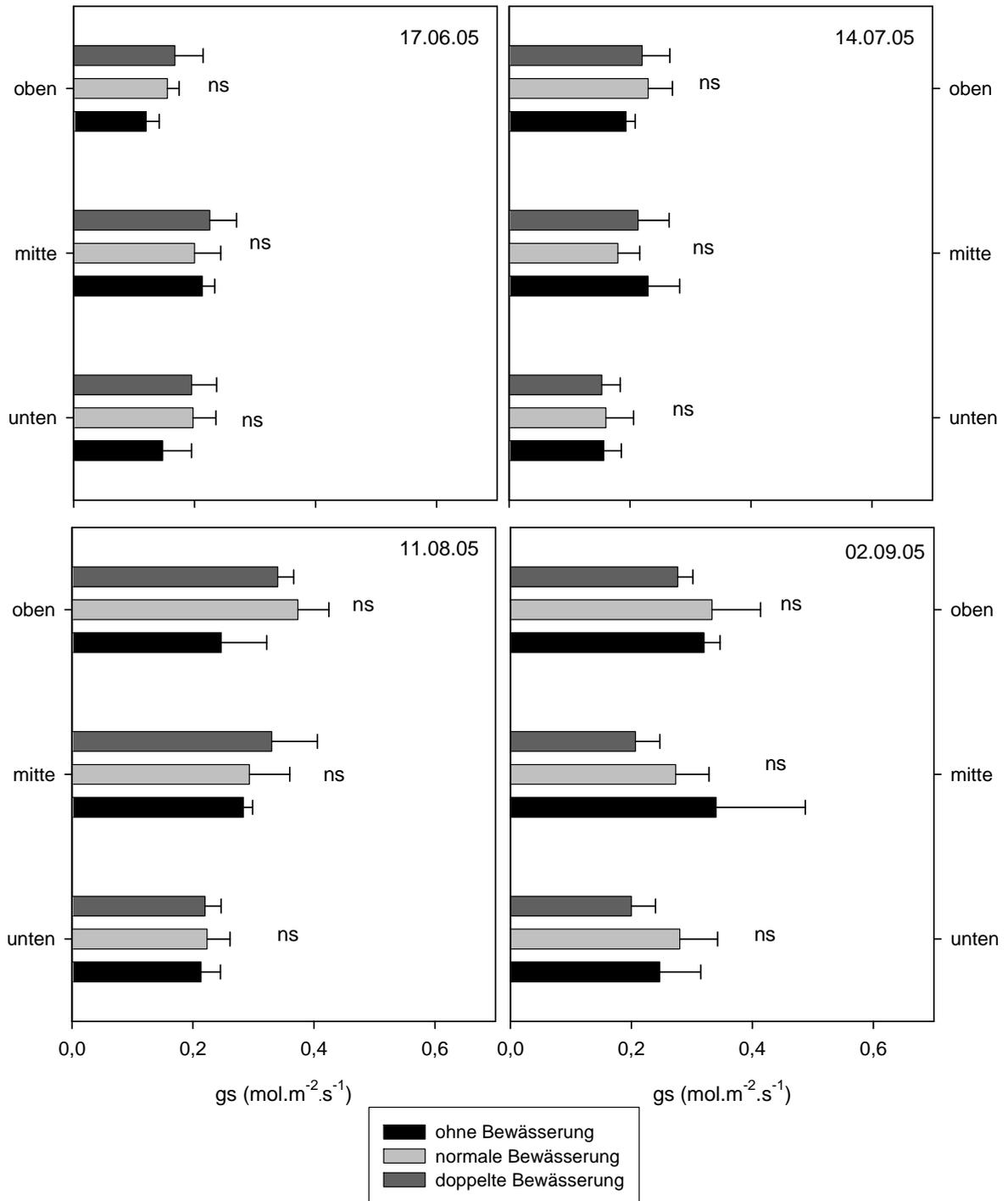


Abbildung 54: Stomatäre Leitfähigkeit (gs) der 3 Laubwandbereiche (unten, mitte, oben) in Abhängigkeit von der Bewässerung am Standort B4, 2005

## 4.5 Kaliumversorgung

### 4.5.1 Gaswechsel in Abhängigkeit von Kaliummangelsymptomen am Rebblatt

Bei den Untersuchungen des Gaswechsels in Abhängigkeit von der Wasserversorgung hatte sich gezeigt, dass auf dem Standort B4 die Fotosyntheseleistung durch Kaliummangel beeinträchtigt wurde (Kapitel 4.2.3.1, Abbildung 13). Auch die Messungen der Fotosyntheseleistung eines Rebtriebes im Jahresverlauf zeigten, dass die niedrige Kaliumversorgung der Reben auf diesem Standort zu einer stärkeren Verminderung der Fotosyntheseleistung bei gleichzeitig hohen Temperaturen und hoher Strahlungsintensität führt (Kapitel 4.3.2). Da Kaliummangelsymptome an den Rebblättern auch in anderen Rebanlagen in Andau (B3, B4), sowie in Illmitz (C6) auftraten, war es angebracht, eingehende Untersuchungen über den Einfluss der Kaliumversorgung auf den Gaswechsel vorzunehmen.

Kaliummangelsymptome an den Rebblättern traten in allen Jahren (2004-2006) auf. Durch die unterschiedliche Witterung konnte das stärkste Auftreten 2004 beobachtet werden, gefolgt vom Jahr 2006, während 2005 die Symptome im Allgemeinen etwas schwächer waren. Bei im Vorjahr stark geschädigten Stöcken (siehe Befallsklassen Tabelle 35) zeigten sich bereits im Frühjahr vor der Rebblüte schwache kümmerliche kurzknötige Triebe. Die kleinen Blätter waren von Beginn an aufgeheilt, wiesen das für Kaliummangel typische metallische Glänzen an der Blattoberfläche auf und hatten zum Teil verbräunte oder nekrotische Blattränder (Befallsklasse 4, Abbildung 55).

Bei schwächerem Kaliummangel erreichten die Blätter auf wüchsigen Trieben ihre normale Größe, zeigten aber bereits zur Blüte ein metallisches Glänzen auf der Blattoberseite und die Blattränder wölbten sich tütenartig nach oben (Befallsklasse 1, Abbildung 57). In weiterer Folge verfärbten sich ca. ab Mitte Juli die Blattränder zuerst gelb (Befallsklasse 2, Abbildung 58,) und dann braun, und nekrotisierten (Befallsklasse 3, Abbildung 59).

Ab Mitte Juli zeigte sich der Kaliummangel auch als eine Rot-Violettverfärbung der Blattspreite vom Blattrand aus, die bei fortgeschrittenem Stadium zum Teil weit in die Blattspreite hineinreichen konnte (Befallsklasse 6, Abbildung 60). Erst kurz vor Reifebeginn war eine Verbräunungen auf der Oberseite der Blattspreite zu sehen, die vor allem auf sonnenexponierten Blättern auftrat (Befallsklasse 7). Alle Blattsymptome nach der Blüte erschienen zuerst an den basalen Blättern unterhalb und in der Traubenzone. Erst bei starker Ausprägung der Symptome im unteren Bereiche wiesen auch die Blätter der mittleren Laubwandbereich Mangelsymptome auf.

Tabelle 35: Einteilung der Blätter in unterschiedliche Befallsklassen

Befallsklasse	Symptome
0	symptomfrei
1	Blattspreite dunkelgrün, metallisch glänzend mit tütenartig nach oben gebogenen Blatträndern
2	Symptome wie bei Klasse 1 mit zusätzlich vergilbtem Blattrand
3	Blätter mit nekrotischen Blatträndern
4	Kleine helle Blätter mit starken Blattrandnekrosen auf kurzen Trieben
6 <sup>4</sup>	Blätter mit rot-violettem Blattrand
7	Verbräunung der Blattspreite



Abbildung 55: Links: Rebstock mit schwachwüchsigen Rebtrieben, mit hellen kleinen Blättern, Blätter an der Triebbasis mit vertrockneten Blatträndern, Befallsklasse 4, (Standort B4, 16.07.04); Rechts: Rebstock mit schwachwüchsigen Rebtrieben, Blätter an der Triebbasis bereits stark nekrotisch, Befallsklasse 4 (Standort B3, 21.07.03)

<sup>4</sup> Die Symptome der Klassen 1-5 traten bereits zum Zeitpunkt der Blüte auf, während die Symptome der Befallsklassen 6 und 7 erst später in der Vegetationsperiode auftraten.



Abbildung 56: Gesundes Rebblatt ohne Kaliummangelsymptome, Befallsklasse 0 (links: Standort B4, 16.07.04, rechts Standort C3, 14.07.04)



Abbildung 57: Rebblatt mit metallischem Glanz auf der Blattoberfläche und tütenartig aufgewölbten Blatträndern, Befallsklasse 1 (links: Standort B4, 16.07.04, rechts Standort C3, 14.07.04)



Abbildung 58: Rebblatt mit metallischem Glanz auf der Blattoberfläche und tütenartig aufgewölbten und gelb verfärbten Blatträndern, Befallsklasse 2 (links: Standort B4, 16.07.04, rechts Standort C3, 14.07.04)



Abbildung 59: Rebblatt mit verbräunten – nekrotisierten Blatträndern, Befallsklasse 3 (links: Standort B4, 16.07.04, rechts Standort C3, 14.07.04)



Abbildung 60: Rebblatt Rot-Violett-Verfärbung vom Blattrand beginnend, Befallsklasse 6 (Standort B4, 16.07.04)

Mittels Gaswechselformung wurde überprüft, ob sich die Blätter mit den verschiedenen Symptomen in ihrer Fotosyntheseleistung, stomatären Leitfähigkeit und Water Use Efficiency unterscheiden. Die Ergebnisse zeigen, dass bei allen Messungen symptomlose Blätter die höchste Fotosyntheseleistung hatten (Tabelle 36). Bei Blättern, die nur ein metallisches Blattglänzen aufwiesen, war die Fotosyntheseleistung je nach Standort und Jahr nur geringfügig gegenüber den symptomlosen Blättern beeinträchtigt. Je stärker die Symptome ausgeprägt waren (Gelbverfärbung und spätere Nekrotisierung des Randes), desto stärker waren die Einbußen in der Fotosyntheserate. Die signifikant niedrigsten Fotosyntheseraten hatten kleinwüchsige Blätter mit starken frühen Mangelercheinungen, sowie Blätter mit rotvioletterm Rand, oder Verbräunung der Blattspreite.

Die stomatäre Leitfähigkeit wies am Standort B4, aber nicht am Standort C4 signifikante Unterschiede zwischen den Befallsklassen auf (Tabelle 37). Generell nahm mit steigender Ausprägung der Symptome die stomatäre Leitfähigkeit ab.

Die Water Use efficiency (WUE) zeigt keinen so klaren Trend wie Fotosyntheseleistung und stomatäre Leitfähigkeit (Tabelle 38). Nur bei der Messung am Standort B4 im Jahr 2005 sank die WUE mit zunehmender Ausprägung der Mangelsymptome. Bei den andern beiden Messungen besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Befallskategorien.

Tabelle 36: Fotosyntheseleistung von Rebblättern mit unterschiedlichen Kaliummangelsymptomen

		A ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )							
Mess-termin	Stand-ort	0	1	2	3	4	6	7	Signifikanz
2004	B4	19,30c	17,42b	17,20b	16,56b	12,79a	13,62a		0,000***
	C4	17,67b	17,34b	15,69a	14,87a				0,001***
2005	B4	15,24c	14,81c	13,15bc	11,53b		7,86a	6,45a	0,000***

Tabelle 37: Stomatäre Leitfähigkeit von Rebblättern mit unterschiedlichen Kaliummangelsymptomen

		gs ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )							
Mess-termin	Stand-ort	0	1	2	3	4	6	7	Signifikanz
2004	B4	0,395c	0,378c	0,340bc	0,326bc	0,247ab	0,223a		0,000***
	C4	0,305	0,306	0,259	0,249				0,053ns
2005	B4	0,279b	0,282b	0,239b	0,227b		0,147a	0,149a	0,000***

Tabelle 38: Water Use Efficiency von Rebblättern mit unterschiedlichen Kaliummangelsymptomen

		WUE							
Mess-termin	Stand-ort	0	1	2	3	4	6	7	Signifikanz
2004	B4	3,73	3,64	3,82	3,80	3,31	3,53		0,130ns
	C4	6,64	6,38	6,35	6,30				0,513ns
2005	B4	2,82c	2,73c	2,78c	2,30bc		2,11ab	1,72a	0,000***

Für die genauere Darstellung der Wirkung von Kaliummangel auf die Fotosyntheseleistung wurden am Standort B4 in Andau an drei Terminen im Juli 2004 (08.07., 21.07. und 30.07.) Messungen von Fotosynthese-Licht-Kurven (A-Q-Kurven) durchgeführt.

Am 08.07.2004 fand die Messung von A-Q-Kurven an optisch gesunden Blättern und Blättern mit metallischem Blattgänzen und tütenartig aufgewölbten bzw. verbräunten Blatträndern statt (Abbildung 61). Aus der Grafik lassen sich kaum Unterschiede zwischen dem Verlauf der Kurve der symptomlosen Blätter und der Blätter mit Kaliummangel feststellen. Die Werte für Lichtkompensationspunkt, Dunkelatmung, Quantum Requirement und maximale Fotosyntheseleistung aus den Kurvenanpassungen sind in Tabelle 39 zusammengefasst und zeigen, dass die gesunden Blätter tendenziell eine geringere Dunkelatmung, einen niedrigeren Lichtkompensationspunkt und ein geringeres Quantum Requirement hatten. Die maximale Fotosyntheseleistung lag jedoch einheitlich hoch bei ca.  $22,00 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Der 08.07.2004 war ein heißer Sommertag (Tagesdurchschnittstemperatur  $24,5^\circ\text{C}$ , Tagesmaximum:  $30,9^\circ\text{C}$ , relative Luftfeuchtigkeit um 14:00

64 %), jedoch bestand durch die Niederschläge Anfang Juli noch eine ausreichende Wasserversorgung.

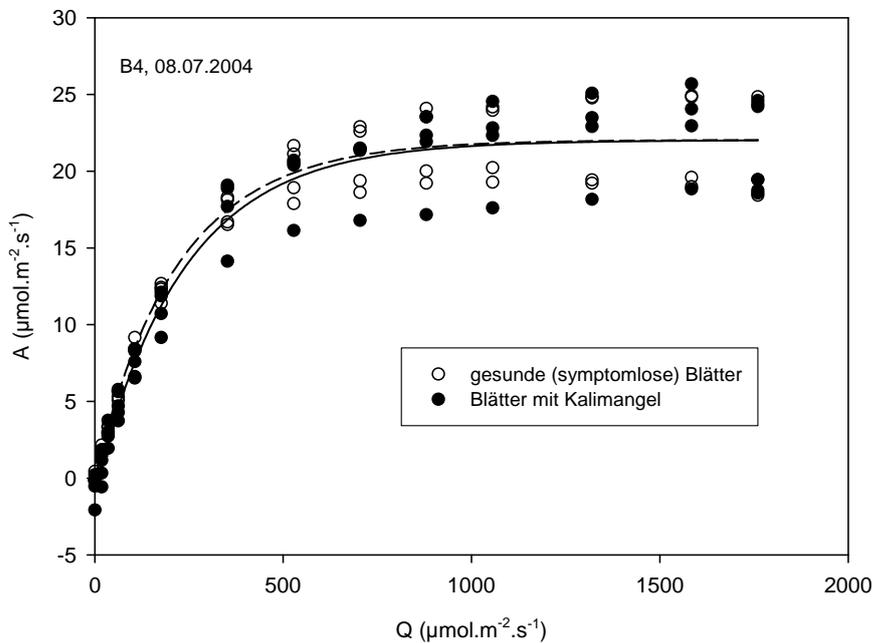


Abbildung 61: A-Q- Kurve von symptomlosen Blättern und Blättern mit Kaliummangel am Standort B4, 08.07.2004; (Kurvenanpassung: gesund:  $r^2 = 0,960^{***}$ , Kaliummangel,  $r^2 = 0,952^{***}$ )

Tabelle 39: Lichtkompensationspunkt, Dunkelatmung, Quantum Requirement und lichtgesättigte Fotosynthese aus den A-Q –Kurven von gesunden Blättern und Blättern mit Kaliummangel am Standort B4 am 08.07.2004

Parameter	Variante		Signifikanz
	Ohne Symptome	Kaliummangel	
Lichtkompensationspunkt ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	1,31	8,75	0,092ns
Dunkelatmung ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	0,02	-0,64	0,121ns
Quantum Requirement ( $\mu\text{mol}.\mu\text{mol}^{-1}$ )	11,77	12,27	0,371ns
$A_{1500}$ ( $\mu\text{mol CO}_2.\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )	22,02	22,14	0,955ns

Die Messungen am 21.07.04 wurden an einem sehr heißen, wolkenlosen Tag zu Mittag durchgeführt (Tagesdurchschnittstemperatur  $25,8^\circ\text{C}$ , Tagesmaximum:  $32,8^\circ\text{C}$ , relative Luftfeuchtigkeit um 14:00 47 %). Die Messung erfolgte an symptomlosen Blättern, sowie an Blättern mit rot-violettem Rand aus der Traubenzone. Die A-Q-Kurven wurden sowohl auf der Sonnenseite als auch auf der Schattenseite der Rebzeile in zweifacher Wiederholung bestimmt. Der Verlauf der A-Q-Kurven (Abbildung 62) und

die Auswertung der Kurven (Tabelle 40) zeigen deutlich, dass Kaliummangelblätter im Vergleich zu gesunden Blättern sowohl auf der Lichtseite als auch auf der Schattenseite eine signifikant geringere Fotosyntheseleistung ( $A_{1500}$ ) hatten. Aber auch die direkte Sonneneinstrahlung verminderte sowohl bei gesunden Blättern als auch bei Blättern mit Kaliummangel signifikant die maximale Fotosyntheseleistung der Blätter im Vergleich zu jenen Blättern, die auf der Schattenseite lagen. Dieses Ergebnis stimmt mit den Messungen des Gaswechsels im Tagesverlauf am 12.08.04 am gleichen Standort überein (Abbildung 13), wo zu Mittag durch die direkte Sonneneinstrahlung die Fotosyntheseleistung bei Kaliummangel reduziert wurde. Die niedrigste Fotosyntheseleistung zeigten Blätter mit violett-rot verfärbtem Blattrand, die auf der Sonnenseite der Rebzeile gemessen wurden. Hier war die Nettofotosyntheseleistung so gering, dass die maximale Fotosyntheserate unter Null lag, was bedeutet, dass mehr  $\text{CO}_2$  veratmet als assimiliert wurde. Durch die direkte Sonneneinstrahlung wurde außerdem das Quantum Requirement signifikant erhöht. Auf die Dunkelatmung und den Lichtkompensationspunkt hatten weder Kaliummangel noch Belichtung einen signifikanten Einfluss.

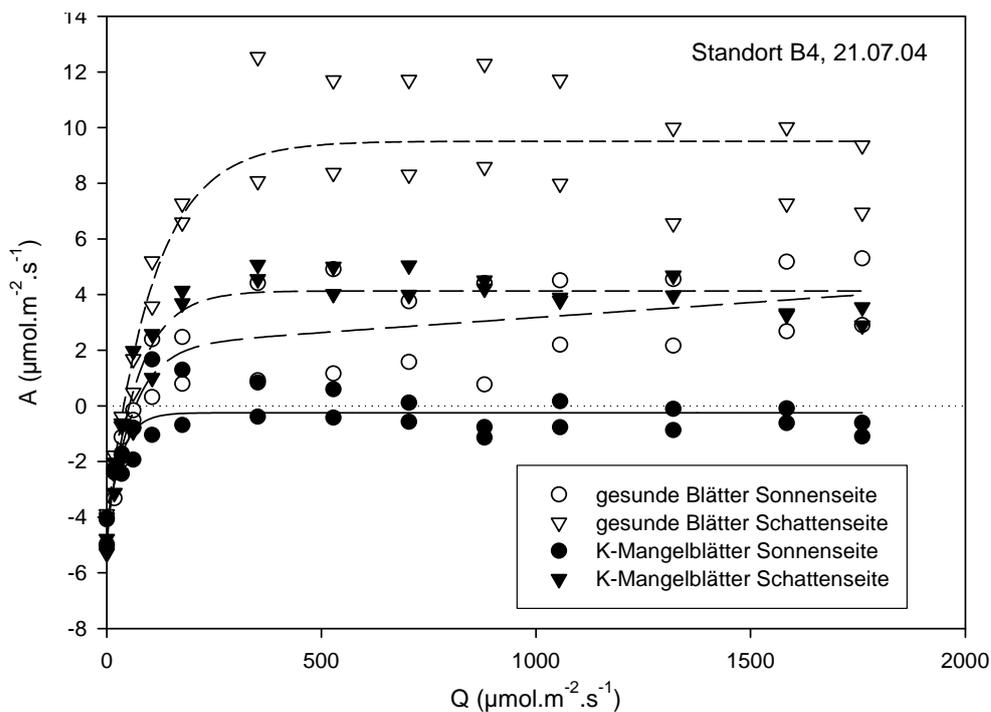


Abbildung 62: Lichtkurve von gesunden Rebblättern und Blättern mit Kaliummangel in Abhängigkeit von der Besonnung der Laubwand am Standort B4 am 21.07.2004 (Kurvenanpassung: gesunde Blätter Sonnenseite:  $r^2 = 0,804^{***}$ , gesunde Blätter Schattenseite:  $r^2 = 0,908^{***}$ , K-Mangelblätter Sonnenseite:  $r^2 = 0,734^{***}$ , K-Mangelblätter Schattenseite:  $r^2 = 0,999^{***}$ )

Tabelle 40: Lichtkompensationspunkt, Dunkelatmung, Quantum Requirement und lichtgesättigte Fotosynthese aus den A-Q-Kurven von gesunden Blättern, Blättern mit Kaliummangel sowie Licht- und Schattenblättern am Standort B4 am 21.07.2004

Parameter	Lichtblätter		Schattenblätter	
	Ohne Symptome	Kaliummangel	Ohne Symptome	Kaliummangel
Lichtkompensationspunkt ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	58,29	54,59	41,20	47,79
Dunkelatmung ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	-4,39	-4,42	-4,28	-5,00
Quantum Requirement ( $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$ )	13,48	12,31	9,62	9,47
$A_{1500}$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	3,19	-0,24	9,51	4,13
	Signifikanz			
	Kaliummangel	Belichtung	Belichtung x Kaliummangel	
Lichtkompensationspunkt ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,831ns	0,133ns	0,462ns	
Dunkelatmung ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,341ns	0,534ns	0,377ns	
Quantum Requirement ( $\mu\text{mol}\cdot\mu\text{mol}^{-1}$ )	0,691ns	0,048*	0,691ns	
$A_{1500}$ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	0,0017*	0,009**	0,434ns	

Die Messung am 30.07.2004 (Tagesdurchschnittstemperatur 20,9° C, Tagesmaximum 25,1° C, relative Luftfeuchtigkeit um 14:00 67 %) wurden, um den Einfluss der Besonnung zu vermeiden, nur auf der Schattenseite an symptomlosen Blättern und an Blättern mit metallischem Glänzen, nekrotisiertem Rand oder rot-violett verfärbtem Rand durchgeführt. Die A-Q-Kurven wurden an Blättern der Traubenzone unter normaler und unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration bestimmt, um die fotosynthetische Kapazität bei gesättigter CO<sub>2</sub>-Konzentration (750 ppm) zu ermitteln. Weiters wurden Kurven im oberen Laubwandbereich (7.-9. Insertion) gemessen (Tabelle 41).

Tabelle 41: Variante der A-Q-Kurven am Standort B4 am 30.07.2004

Kaliumversorgung	Insertion	CO <sub>2</sub> -Konzentration
Ganzer Trieb gesund	Gesundes Blatt basal inseriert	normale CO <sub>2</sub> -Konzentration
	Gesundes Blatt basal inseriert	erhöhte CO <sub>2</sub> -Konzentration (750ppm)
	Gesundes Blatt am gleichen Trieb im oberen Laubwandbereich	normale CO <sub>2</sub> -Konzentration
Kaliummangel an den basalen Blättern des Triebes	Blatt mit Kaliummangelsymptomen basal inseriert	normale CO <sub>2</sub> -Konzentration
	Blatt mit Kaliummangelsymptomen basal inseriert	erhöhte CO <sub>2</sub> -Konzentration (750ppm)
	Gesundes Blatt am gleichen Trieb im oberen Laubwandbereich	normale CO <sub>2</sub> -Konzentration

Die Messungen von Lichtkurven an gesunden Blättern und Blättern mit Kaliummangelsymptomen im basalen Bereich unter normaler CO<sub>2</sub>-Konzentration (Abbildung 63) zeigte wie beim vorigen Termin,

dass die Blätter mit Kaliummangel eine deutlich niedrigere Fotosyntheseleistung aufwiesen als die Kontrollvariante der gesunden Blätter. Die maximale Fotosyntheserate lag bei den Blättern mit Kaliummangel mit durchschnittlichen  $0,99 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  knapp im positiven Bereich, die maximale Fotosyntheserate der gesunden Kontrolle betrug im Mittel  $9,47 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Tabelle 42). Die mittlere Dunkelatmung war bei den Blättern mit Kaliummangel tendenziell größer als bei der gesunden Kontrolle. Der Lichtkompensationspunkt war bei den gesunden Blättern signifikant niedriger als bei den Blättern mit Kaliummangel.

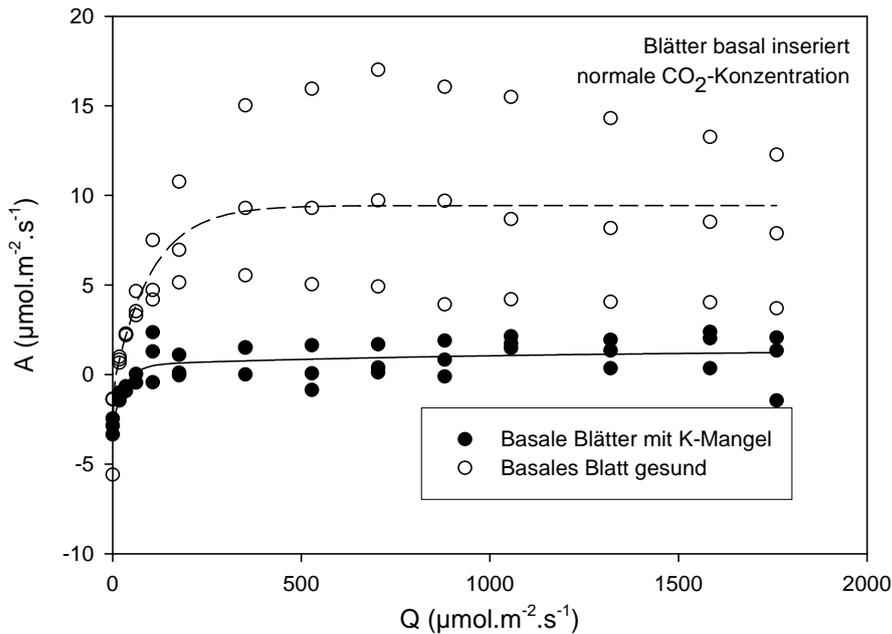


Abbildung 63: Lichtkurve von gesunden Rebblättern und Blättern mit Kaliummangel, im unteren Laubwandbereich am Standort B4 am 30.07.2004 (Kurvenanpassung: gesunde Blätter  $r^2 = 0,639^{***}$  K-Mangelblätter  $r^2 = 0,558^{***}$ )

Bei der Messung derselben Blätter wie bei der ersten Kurve, aber unter erhöhter  $\text{CO}_2$ -Konzentration (Abbildung 64) war der Unterschied in der maximalen Fotosyntheserate noch deutlicher ausgeprägt. Bei den gesunden Blättern lag die maximale Fotosyntheseleistung bei  $25,63 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , bei den Blättern mit Kaliummangel war sie signifikant geringer und betrug im Mittel  $6,66 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Durch den Einsatz der erhöhten  $\text{CO}_2$ -Konzentration streuten die Messwerte im Schwachlichtbereich, sodass die Werte für Dunkelatmung, Lichtkompensationspunkt und Quantum Requirement nur unzureichend bestimmt werden konnten, wodurch keine Interpretation möglich war.

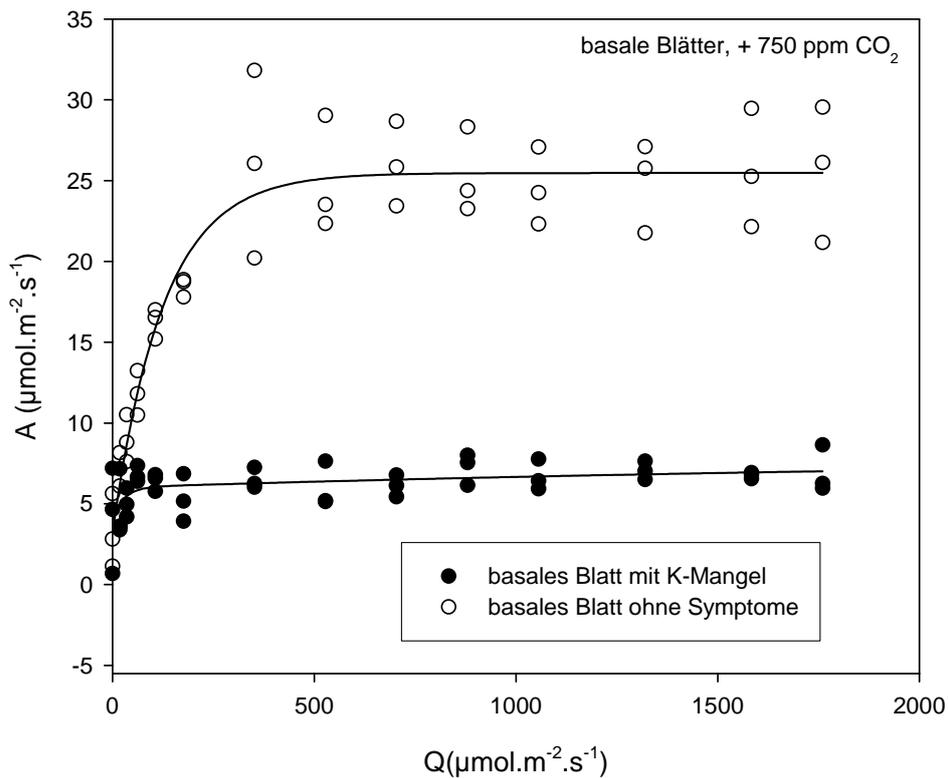


Abbildung 64: Lichtkurve von gesunden Rebblättern und Blättern mit Kaliummangel, im unteren Laubwandbereich am Standort B4, unter erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration (750 ppm) am 30.07.2004 (Kurvenanpassung: gesunde Blätter  $r^2 = 0,910^{***}$  K-Mangelblätter  $r^2 = 0,308^{**}$ )

Messungen an Blättern aus der 7.-9. Insertion oberhalb von symptomlosen Blättern oder Blätter mit Kaliummangel zeigten, dass sich die Fotosyntheseleistung der Blätter der oberen Laubwandzone im Mittel nicht signifikant voneinander unterscheiden (Abbildung 65). Tendenziell waren zwar auch bei den Blättern, die im oberen Bereich von Trieben wachsen, wo im unteren Bereich Kaliummangel herrschte, der Lichtkompensationspunkt und die Dunkelatmung höher, andererseits zeigten diese Blätter aber auch eine etwas höhere maximale Fotosyntheserate.

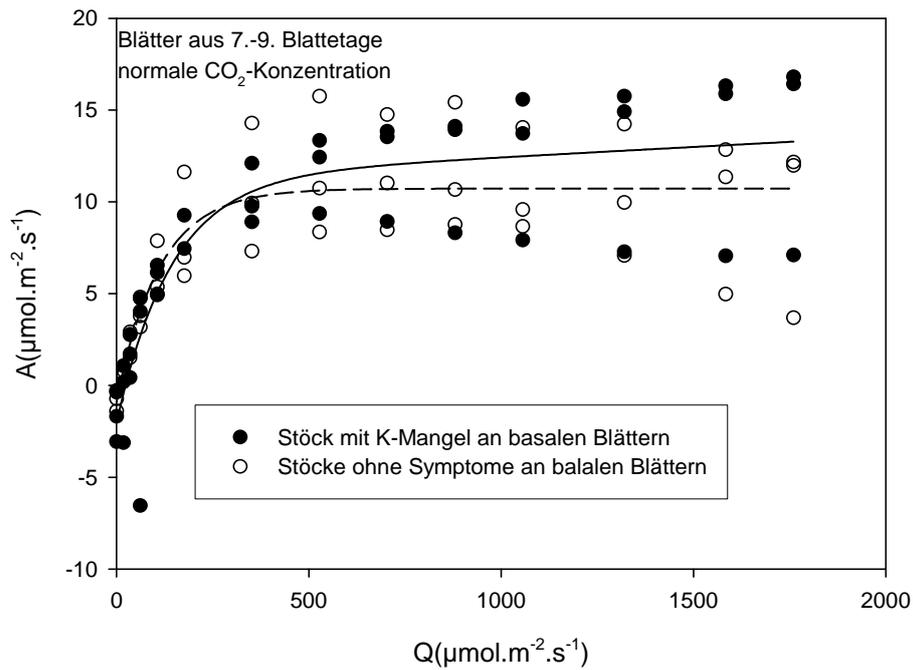


Abbildung 65: Lichtkurve von gesunden Rebblättern im oberen Laubwandbereich von Trieben mit symptomlosen Blättern oder Blättern mit Kaliummangel im unteren Laubwandbereich am Standort B4 am 30.07.2004 (Kurvenanpassung: gesunde Blätter  $r^2 = 0,739^{***}$  K-Mangelblätter  $r^2 = 0,774^{***}$ )

Tabelle 42: Lichtkompensationspunkt, Dunkelatmung, Quantum Requirement und lichtgesättigte Fotosynthese aus den A-Q –Kurven von gesunden Blättern und Blättern mit Kaliummangel bei normaler CO<sub>2</sub> – Konzentration, erhöhter CO<sub>2</sub> – Konzentration sowie an symptomlosen Blättern im oberen Laubwandbereich am Standort B4 am 30.07.2004. (Werte in Klammer wurden aus Messdaten ermittelt, die im Schwachlichtbereich eine sehr starke Streuung hatten, und teilweise nicht signifikante Kurvenanpassungen hatten.)

Basale Blätter – normale CO <sub>2</sub> - Konzentration			
Parameter	Ohne Symptome	Kaliummangel	Signifikanz
Lichtkompensationspunkt (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	17,38	38,77	0,027*
Dunkelatmung (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	-1,84	-2,83	0,201ns
Quantum Requirement (μmol.μmol <sup>-1</sup> )	10,27	14,56	0,326ns
A <sub>1500</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	9,47	0,99	0,052ns
Basale Blätter – erhöhte (750 ppm) CO <sub>2</sub> - Konzentration			
Parameter	Ohne Symptome	Kaliummangel	Signifikanz
Lichtkompensationspunkt (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	(0)	(0)	-
Dunkelatmung (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	(3,29)	(3,68)	0,840ns
Quantum Requirement (μmol.μmol <sup>-1</sup> )	(8,31)	(36,35)	0,349ns
A <sub>1500</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	25,63	6,66	0,000***
7. -9. Blatttage - normale CO <sub>2</sub> - Konzentration			
Parameter	Ohne Symptome	Kaliummangel	Signifikanz
Lichtkompensationspunkt (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	8,07	31,41	0,321ns
Dunkelatmung (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	-0,69	-1,93	0,299ns
Quantum Requirement (μmol.μmol <sup>-1</sup> )	15,26	13,93	0,815ns
A <sub>1500</sub> (μmol.m <sup>-2</sup> .s <sup>-1</sup> )	10,88	12,98	0,527ns

## **4.5.2 Kaliumdüngung**

Da Rebblätter mit Kaliummangelsymptomen deutliche Einbußen in der Fotosyntheseleistung gezeigt hatten, wurde überprüft, ob auch eine Kaliumdüngeranwendung Einfluss auf den Gaswechsel der Reben hat. Dazu wurden Düngerversuche, bei denen Kalium sowohl als Blattdünger als auch im Kleinversuch als Bodendüngung ausgebracht worden war, ausgewertet.

### **4.5.2.1 Blattdüngung**

Die Gaswechselleistung der Rebblätter wurde nach der Applikation von drei verschiedenen Kalium-Blattdüngern (Agripotash, Nutrileaf und  $\text{KNO}_3$ ) und einem Magnesium-Blattdünger (Agrovit-Mg) gemessen. Die Düngerversuche wurden in zwei aufeinander folgenden Jahren durchgeführt. Die Messungen erfolgten im zweiten Jahr der Applikation und im Jahr nach den Düngerapplikationen. Die Ergebnisse für Fotosyntheseleistung, stomatare Leitfähigkeit und Water Use Efficiency sind in den Tabellen 43 bis 45 zusammengefasst.

Die Ergebnisse müssen aber in Zusammenhang mit den Nährstoffgehalten der Blätter nach der Düngeranwendung gesehen werden (Tabelle 46). Da trotz mehrfacher Behandlung der Reben mit Kaliumblattdünger der Kaliumgehalt in den Rebblättern gegenüber der unbehandelten Kontrolle und dem Magnesiumdünger nicht erhöht werden konnte, ließen sich auch keine Unterschiede in der Fotosyntheseleistung durch den unterschiedlichen Kaliumgehalt bestimmen.

Dennoch zeigten sich am zweiten Messtermin des Jahres 2004 zu Traubenschluss (2/04) signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten. Interessanterweise hatten aber nicht die Blätter der Reben die höchste Fotosyntheserate, die mit Kaliumblattdüngern behandelt worden waren, sondern jene der unbehandelten Kontrolle (UK). Auch die stomatare Leitfähigkeit war bei der unbehandelten Kontrolle (UK) bei der Messung zu Traubenschluss im Mittel über die Standorte tendenziell am höchsten, die Unterschiede waren allerdings nicht signifikant.

Tabelle 43: Fotosyntheseleistung (A) in Abhängigkeit von Blattdünger, Behandlungstermin und Messtermin an den einzelnen Standorten und im Mittel über die Standorte

A ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )						
Mess-termin	Behandlungs-termin <sup>5</sup>	UK	Agripotash	Nutrileaf	Agrovit Mg	Signifikanz
1/04	s/03	18,82	18,89	19,05	18,59	0,875ns
	f/04	15,62	15,17	15,16	15,26	0,702ns
2/04	f/04	19,97b	18,60ab	18,10a	19,07ab	0,015*
	s/04	19,67b	19,18ab	17,89a	19,22ab	0,007**
	MW	19,97c	18,89b	17,99a	19,15bc	0,000***
1/05	s/04	12,25	11,89	10,90	11,47	0,052ns

Tabelle 44: Stomatäre Leitfähigkeit (gs) in Abhängigkeit von Blattdünger, Behandlungstermin und Messtermin an den einzelnen Standorten und im Mittel über die Standorte

gs ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )						
Mess-termin	Behandlungs-termin	UK	Agripotash	Nutrileaf	Agrovit Mg	Signifikanz
1/04	s/03	0,516	0,443	0,501	0,514	0,098ns
	f/04	0,339	0,325	0,303	0,354	0,070ns
2/04	f/04	0,350	0,316	0,321	0,336	0,271ns
	s/04	0,350	0,347	0,311	0,309	0,038*
	MW	0,350	0,331	0,316	0,322	0,059ns
1/05	s/04	0,191b	0,171a	0,156a	0,165a	0,001**

Tabelle 45: Water Use Efficiency (WUE) in Abhängigkeit von Blattdünger, Behandlungstermin und Messtermin an den einzelnen Standorten und im Mittel über die Standorte

WUE ( $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$ )							
Mess-termin	Behandlungs-termin	Standort	UK	Agripotash	Nutrileaf	Agrovit Mg	Signifikanz
1/04	s/03	MW	2,83	3,02	2,81	2,71	0,418ns
	f/04	MW	3,72a	3,68a	3,86b	3,59a	0,000***
2/04	f/04	MW	2,34	2,45	2,30	2,37	0,218ns
	s/04	MW	2,34a	2,28a	2,21a	2,46b	0,000***
	MW		2,34ab	2,36ab	2,26a	2,41b	0,007**
1/05	s/04	MW	3,12	3,47	3,19	3,26	0,071ns

<sup>5</sup> f = früh, s = spät

Tabelle 46: Kaliumgehalt im Rebblatt in Abhängigkeit von Blattdünger, Behandlungstermin und Messtermin an den einzelnen Standorten und im Mittel über die Standorte

		K (% TM)				
Probenahme-termin	Behandlung s-termin	UK	Agripotash	Nutrileaf	Agrovit Mg	Signifikanz
1/04	s/03	0,96	0,96	0,89	1,00	0,962ns
2/04	f/04	0,73	0,64	0,80	0,71	0,868ns
	s/04	0,75	0,85	0,80	0,77	0,982ns
	MW	0,74	0,75	0,80	0,74	0,981ns
1/05	s/04	0,99	1,01	1,02	0,98	0,981ns
MW		0,82	0,83	0,85	0,83	0,999ns

#### 4.5.2.2 Lanzendüngung

Im Gegensatz zur Applikation des Kaliums als Blattdünger zeigte sich, dass die Ausbringung einer flüssigen Kaliumdüngerlösung ( $K_2SO_4$ ) in den Wurzelbereich von Einzelstöcken zu tendenziell höheren Kaliumgehalten in den Rebblättern geführt hatte (Tabelle 50), auch wenn die Werte innerhalb und zwischen den Standorten zum Teil sehr stark streuten, wodurch keine signifikanten Unterschiede für die Mittelwerte über die Standorte vorhanden sind.

Die Messung der Fotosyntheseleistung erfolgte im gleichen Jahr der Behandlung zu Fruchtansatz (1/04), Reifebeginn (2/04), während der Beerenreife (3/04) und im folgenden Jahr vor der Blüte (1/05) und bei Traubenschluss (2/05). Die Ergebnisse zeigten aber, dass sich die Düngerbehandlung ( $K_2SO_4$ ) nur wenig auf die Gaswechselleistung der Stöcke auswirkte. Die Fotosyntheseleistung (Tabelle 47) unterschied sich nur am letzten Termin 2/05 signifikant zwischen den Varianten, wobei die gedüngte Variante eine höhere Fotosyntheseleistung erbrachte als die ungedüngte (UK).

Die stomatäre Leitfähigkeit wurde durch die Düngervarianten stärker beeinflusst als die Fotosyntheseleistung (Tabelle 48). Im Mittel über alle Standorte hatte an 4 von 5 Messterminen die Variante mit  $K_2SO_4$  eine höhere stomatäre Leitfähigkeit als die unbehandelte Kontrolle. Signifikant sind diese Unterschiede für die Termine 3/04 und 2/05 sowie für den Mittelwert über alle Termine und Standorte.

Die WUE (Tabelle 49) ist im Mittel der Messtermine tendenziell bei der UK niedriger als bei der gedüngten Variante. Die Unterschiede sind aber, bedingt durch die starke Streuung der einzelnen Standorte, nicht signifikant.

Tabelle 47: Ergebnisse der Gaswechselfmessung bei unterschiedlicher Lanzendüngung 1. Fotosyntheserate (A)

Termin	A ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
	UK	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Signifikanz
1/04	14,86	15,29	0,438ns
2/04	17,69	17,39	0,625ns
3/04	12,92	13,72	0,156ns
1/05	13,70	13,42	0,376ns
2/05	15,55a	16,88b	0,019*

Tabelle 48 Ergebnisse der Gaswechselfmessung bei unterschiedlicher Lanzendüngung 2. Stomatäre Leitfähigkeit (gs)

Termin	gs ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )		
	UK	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Signifikanz
1/04	0,304	0,319	0,475ns
2/04	0,484	0,542	0,134ns
3/04	0,205	0,253	0,007*
1/05	0,188	0,182	0,346ns
2/05	0,216	0,264	0,003**

Tabelle 49 Ergebnisse der Gaswechselfmessung bei unterschiedlicher Lanzendüngung 3. Water Use Efficiency (WUE)

Termin	WUE ( $\text{mmol}\cdot\text{mol}^{-1}$ )		
	UK	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Signifikanz
1/04	3,19	3,34	0,050ns
2/04	1,97	2,06	0,232ns
3/04	3,81	3,91	0,524ns
1/05	2,60	2,64	0,328ns
2/05	4,08	4,13	0,762ns

Tabelle 50 Kaliumgehalt in den Rebblättern (% TM) bei unterschiedlicher Lanzendüngung

Termin	K (% TM)		
	UK	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Signifikanz
2/04	0,91	1,00	0,638ns
1/05	0,93	0,96	0,872ns
MW	0,92	0,98	0,636ns

## 5 Diskussion

### 5.1 Diskussion allgemein

Die Fotosyntheseleistung ist die Grundlage für das Wachstum der Reben und die Produktion von hochwertigem Traubengut. Sie wird von einer Vielzahl von inneren und äußeren Faktoren beeinflusst, wie z.B. Alter und Gesundheit der Pflanzen, Licht, Temperatur, Wasserversorgung, Mineralstoffversorgung (LARCHER 1994). Auch wenn viele dieser Faktoren durch die Umweltbedingungen vorgegeben werden, besteht dennoch ein großer Handlungsspielraum für den Winzer, durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen wie Rebschnitt, Laubarbeit, Bodenbearbeitung, Bewässerung und Düngung die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass der Gaswechsel der Reben optimiert wird.

In der vorliegenden Arbeit wurde der Gaswechsel und der Wasserhaushalt von Reben der Sorte Zweigelt unter den pannonischen Klimabedingungen des nördlichen Burgenlandes untersucht, und zwar in erster Linie in Richtung Wasserversorgung, Blattalter, Laubwandgestaltung und Kaliumversorgung.

Wie in der Literatur mehrfach beschrieben (SIPIORA und LISSARAGUE 1999, LOPES 1999, MEDRANO et al. 2003, WLLIAMS und TROUT 2005) erfolgte die Erfassung der Auswirkung der Niederschläge und der Tropfbewässerung bzw. von möglichem Wasserstress auf die Reben durch die Gegenüberstellung von Predawn Water Potential (Wasserpotenzial vor Sonnenaufgang,  $\psi_{PD}$ ) und Gaswechsel, also der Fotosyntheseleistung und Stomataöffnung.

In den eigenen Untersuchungen konnte jedoch bis zu -0,25 MPa keine Verminderung der maximalen Fotosyntheseleistung im Tagesverlauf ermittelt werden, wobei die große Streubreite nicht unerwähnt bleiben dürfte. Wenn  $\psi_{PD}$  unter -0,25 MPa fiel, nahmen bei Zweigelt die maximale Fotosyntheseleistung und die stomatäre Leitfähigkeit jedoch deutlich ab. Diese Ergebnisse decken sich sehr gut mit den Empfehlungen von SCHULTZ und STEINBERG (2002a), SCHULTZ (2003) und MÜLLER (2006), die als Grenzwert für das Einsetzen der Bewässerung einen Schwellenwert von -0,25 bis -0,30 MPa ansehen.

Auffallend war in den eigenen Untersuchungen, dass diese kritische Schwelle nur im Jahr 2004 in der unbewässerten Variante Ende August ( $\psi_{PD} = -0,43$  MPa) und bei Bewässerung Anfang September ( $\psi_{PD} = -0,25$  MPa) erreicht wurde, als bereits 6 bis 8 Wochen Trockenheit geherrscht hatte. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewässerung auf dem Versuchsstandort B3 durch die betriebsspezifische Entscheidung aufgrund der Beobachtung des Bestandes und der Witterung in beiden Jahren bereits bei -0,07 bis -0,08 MPa eingesetzt.

Ein milder Wasserstress, das heißt  $\psi_{PD}$  in einem Bereich von -0,10 bis -0,30 MPa, wird im Hinblick auf die Traubenqualität jedoch meist positiv beurteilt, da ein übermäßiges vegetatives Wachstum gebremst und so mehr Assimilate in die Trauben transportiert werden (KIEFER 1995, RUPP 2006,

SCHULTZ und STEINBERG 2002a). Ein Überangebot an Wasser bei Fruchtansatz führt vor allem zu einer Steigerung der Ertragsmengen bei einer gleichzeitigen Verschlechterung der Qualität (KIEFER 1995, MÜLLER 2006, WILLIAMS und MATTEWS 1990). Auch die weiterführenden Untersuchungen im Rahmen des Traubenwelkeprojektes hatten gezeigt (REDL et al. 2007), dass bei schwachwüchsigen Reben (Standort B3) durch ein Überangebot an Wasser (Versuchsvariante doppelte Bewässerung) das Ertragsniveau bei gleichzeitiger Mostgewichtsabnahme angehoben wurde. Diese Ergebnisse führen zum Schluss, dass in den beiden Versuchsjahren, selbst im Herbst 2004, auch ohne Bewässerung keine starke Stresssituation für die Reben vorlag. Untermuert wird dies auch durch die Auswertungen der Most- und Weinqualitäten, die selbst für den unbewässerten Varianten im Jahr 2004 befriedigende bis gute Qualitäten auswiesen. Erst bei stärkerer Trockenheit wie im Jahr 2003, als bereits Anfang Juli das  $\psi_{PD}$  auf -0,40 MPa fiel, wurden die Trauben- und Weinqualität ohne Bewässerung deutlich vermindert (REDL et al. 2007).

Die gute Wasserversorgung im Jahr 2005 prägte auch die Ergebnisse der Messungen der Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Insertionshöhe im Jahresverlauf. Grundsätzlich zeigte sich auf drei sehr unterschiedlichen Versuchsstandorten, dass bei guter Wasserversorgung auch die älteren Blätter im unteren Laubwandbereich über einen langen Zeitraum eine hohe Fotosyntheseleistung aufrechterhalten können. Obwohl die gute Wasserversorgung offenbar die Standortunterschiede minimierte, ließen sich dennoch Einflüsse der unterschiedlichen Kultivierungsweise der einzelnen Standorte auf die Fotosyntheseleistung erkennen.

Es war augenscheinlich, dass die Reben auf dem Trockenstandort B3 in Andau durch ihren schwachen Wuchs, die hohe Triebzahl und dichte Laubwand bei gleichzeitig hoher Ertragsbelastung schneller alterten und auch die geringste maximale Fotosyntheseleistung erbrachten. Demgegenüber hatten die Reben auf dem Standort A2 in Mönchhof bei schwachem Anschnitt und geringerer Einzelstockbelastung nicht nur einen starken Triebwuchs sondern auch eine hohe Fotosyntheseleistung und eine langsame Alterung der Blätter. Die höchste Fotosyntheseleistung wurde erst mit einem Blattalter von 40 Tagen erreicht, danach kam es zu einem langsamen Abfall. Allerdings ist zu beachten, dass die für die Fotosynthese günstigen klimatischen Verhältnisse der Dichtpflanzung (Standort A2) mit niedrigem Rebstamm und schlanker hohen Laubwand (höhere Luftfeuchtigkeit und niedrigere Temperatur) gleichzeitig zu großen Problemen mit Beerenfäule führten.

Auf dem Standort B4 in Andau konnte bei völlig anderem Bestandesklima genau das Gegenteil beobachtet werden. Durch die schlanke, durchlässige Laubwand waren bei zugleich weitem Reihenabstand die Blätter sehr stark dem Wind ausgesetzt, wodurch es zu zusätzlichem Wasserverlust durch verstärkte Transpiration kam. Andererseits gab es auf diesem Standort erhebliche Probleme mit der Kaliumversorgung, wodurch bei sichtbaren Mangelsymptomen auf den Rebblättern die Fotosyntheseleistung gegenüber den gesunden Blättern vermindert wurde. Aber auch optisch gesunde Rebblätter hatten durch die niedrige Kaliumversorgung bei Trockenheit, Licht- oder Hitzestress verstärkte Einbußen in der Fotosyntheseleistung. Dies zeigt deutlich, dass eine ausreichende

Kaliumversorgung für die einen gut funktionierenden Gaswechsel gerade bei periodischer Trockenheit unbedingt notwendig ist, wie es von DÜRING (1988) und ÇAKMAK (2005) beschrieben wurde.

## 5.2 Diskussion Bewässerung

### 5.2.1 Einfluss der Bewässerung auf das Wasserpotenzial der Reben

Um den Einfluss der Bewässerung auf den Gaswechsel bei Zweigelt-Reben unter den typisch heißen Bedingungen des Seewinkels im Burgenland zu untersuchen, war es notwendig, den Zustand der Wasserversorgung der Reben und des Bodens im Beobachtungszeitraum zu beschreiben. Dazu wurde in den Jahren 2004 und 2005 an einem Trockenstandort der Jahresgang des Predawn Water Potentials ( $\psi_{PD}$ ) der Reben und des Bodenwassergehalts in Abhängigkeit von den Bewässerungsvarianten gemessen. Das Predawn Water Potential (Gesamtwasserpotenzial der Rebe vor Sonnenaufgang) wurde gewählt, da es von der botanischen Seite gesehen ein direkter Indikator für das Wasserpotenzial des Bodens im Wurzelraum der Reben ist (RICHTER 1997). Das Gesamtwasserpotenzial beschreibt den Energiezustand des Wassers im Boden-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum. Der Anspruch des Kontinuums an das Gesamtwasserpotenzial der Pflanzen setzt sich aus den Komponenten Bodenwasserpotenzial, Gravitationspotenzial und Reibungspotenzial zusammen. Der Grund für die gute Aussagekraft des Predawn Water Potentials liegt darin, dass bei Messungen vor Sonnenaufgang das Bodenwasserpotenzial den stärksten Einfluss auf das Gesamtwasserpotenzial hat, während das Reibungspotenzial bei fehlender Transpiration und das Gravitationspotenzial bei niedrigen Pflanzen zu vernachlässigen sind (RICHTER 1997).

Das Predawn Water Potential hat sich auch bei der Rebe als gutes Maß zur Beurteilung der Wasserversorgung erwiesen (LOPES 1999, MEDRANO et al. 2003, GRUBER und SCHULTZ 2005). In manchen Untersuchungen wird aber auch das Blattwasserpotenzial zu Mittag als Indikator für die Wasserversorgung der Reben herangezogen (ARAUJO et al. 1999, SIPIORA und LASSARROGUE 1999, ABU HILAL et al. 2000). Es ist im Gegensatz zu  $\psi_{PD}$  jedoch schwieriger zu interpretieren, da es von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt wird (HSIAO 1990). Denn im Unterschied zum Predawn Water Potential wird das Blattwasserpotenzial nach Sonnenaufgang vor allem durch das Reibungspotenzial bestimmt, das die Strömungswiderstände des Wassers im Boden und in der Pflanze wiedergibt. Folglich variiert das Blattwasserpotenzial im Tagesverlauf stark mit der Menge an transpiriertem Wasser. Daher weisen auch WILLIAMS und TROUT (2005) sowie GRUBER und SCHULTZ (2005) darauf hin, dass das Blattwasserpotenzial zu Mittag oftmals nur gering mit der Wasserversorgung der Rebe korreliert.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen zeigen ebenfalls auf, dass das Blattwasserpotenzial zu Mittag ein schlechter Indikator für die Wasserversorgung der Reben ist. Ein Grund dafür ist, dass es infolge von Wassermangel im Tagesverlauf zum Schließen der Stomata kommt, wodurch die Transpiration herabgesetzt und das Reibungspotenzial verringert wird. Dadurch haben Blätter mit geschlossenen Stomata oftmals ein weniger negatives Blattwasserpotenzial als transpirierende Blätter.

Ein Beispiel dafür ist der 12.08.04, ein sonniger, heißer Tag, an dem es durch Wassermangel in den unbewässerten Parzellen bereits vor Mittag zum Schließen der Stomata kam, wodurch das Blattwasserpotenzial ( $\psi_L$ ) nicht mehr absank. Dies führt dazu, dass zu Mittag gleich oder auch höher lag als bei den Blättern bewässerter Reben mit geöffneten Stomata. Ein typisches Beispiel dafür lieferten auch Messungen aus dem Extremjahr 2003 am Standort B4 (Daten nicht gezeigt). Bei einem  $\psi_{PD}$  von -0,40 MPa in der unbewässerten Variante setzte bei heißer trockener Witterung schon um 9:00 der Stomataschluss ein, sodass  $\psi_L$  danach nicht mehr weiter absank und zu Mittag mit minimal -1,20 MPa höher lag als bei den bewässerten Varianten, bei denen die Stomata noch geöffnet waren und Fotosynthese betrieben wurde.

Am 29.07.05 war ein sehr niedriges Blattwasserpotenzial zu Mittag (-1,60 MPa) zu finden. Die Auswertung des Predawn Water Potentials und der Niederschläge hatten allerdings gezeigt, dass die Reben zu diesem Zeitpunkt ausreichend mit Wasser versorgt waren. In diesem Fall ist das niedrige Blattwasserpotenzial ein Indikator für ein stark negatives Reibungspotenzials durch hohe Verdunstung bei geöffneten Stomata und ausreichender Wasserversorgung. Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangten auch SIPIORA und LISSARAGUE (1999), bei deren Untersuchungen  $\psi_L$  zu Mittag Werte von -1,40 MPa erreichte und die Stomata immer noch geöffnet waren.

An bewölkten Tagen hingegen, wie es bei den Messungen am 1., 16. und 28. Juli 2004 der Fall war, fiel  $\psi_L$  zu Mittag bei den bewässerten Varianten nur auf -0,60 MPa, da einerseits der Verdunstungsbedarf nicht so hoch war, andererseits durch die fehlende Lichtintensität die Fotosyntheserate niedrig war und die Stomata daher eher geschlossen blieben. An diesen Terminen, wo das Wasserpotenzial nur wenig negative Werte erreichte, waren anders als an heißen Tagen auch zu Mittag die  $\psi_L$ -Werte der unbewässerten Variante negativer als bei den bewässerten Varianten, und wiesen in diesem Fall auf stärkeren Wasserstress hin.

Der Verlauf des Predawn Water Potentials in den Vegetationsperioden 2004 und 2005 war geprägt durch die sehr unterschiedlichen Witterungsverläufe der beiden Versuchsjahre. Im Jahr 2004 fiel  $\psi_{PD}$  von Anfang Juli bis Mitte September durch die mangelnden Niederschläge auf -0,42 MPa in der unbewässerten Variante und auf -0,27 MPa in den bewässerten Varianten. 2005 wechselten hingegen Trockenperioden mit Niederschlägen ab, wodurch das Predawn Water Potential Mitte August nur -0,18 MPa erreichte. Man geht allgemein davon aus, dass oberhalb von -0,20 bis -0,30 MPa kein oder nur milder Wasserstress herrscht, während bei Werten von -0,40 bis -0,60 MPa bereits von starkem Wasserstress gesprochen werden kann, sodass ca. -0,25 MPa als Schwellenwert für den Beginn von Wasserstress und damit notwendiger Zusatzbewässerung angesehen werden können (LOPES 1999, SCHULTZ und STEINBERG 2002b, MEDRANO et al. 2003, MÜLLER 2006, PATAKAS et al. 2005). Bezieht man diese Grenzwerte auf die Verläufe von  $\psi_{PD}$  in den eigenen Untersuchungen, so ist zu sehen, dass sie nur im Jahr 2004 unterschritten wurden. Zwischen dem 12. und 27.04. fiel in der unbewässerten Variante das Predawn Water Potential auf -0,42 MPa und erst Anfang September in der normal bewässerten und doppelt bewässerten auf -0,27 MPa. Im Versuchsjahr 2005 wurde der

kritische Wert von  $-0,25$  MPa zu keinem Zeitpunkt unterschritten, sodass nur im Jahr 2004 ein Einfluss der Bewässerungsvarianten auf  $\psi_{PD}$  nachzuweisen war.

Interessant ist, dass auch bei normaler Bewässerung und sogar bei doppelter Bewässerung  $\psi_{PD}$  am letzten Termin Anfang September knapp unter die kritische Schwelle von  $-0,25$  MPa absank. Ein Grund dafür ist möglicherweise, dass bei der Tropfbewässerung im schotterreichen Boden nur der Bereich direkt unter der Rebzeile angefeuchtet wird, und es gleichzeitig zu einer kontinuierlichen Austrocknung der Fahrgasse kommt. Da nicht bekannt ist, ob sich der Wurzelbereich der Rebe weiter in die Fahrgasse oder auch in tiefere Schichten erstreckt, in die die Bewässerung nicht mehr ausreichend vordringt, ist es wahrscheinlich, dass die Rebe im Laufe der Saison trotz Bewässerung Wasserstress ausgesetzt ist. Auch bei Untersuchungen von RUBIO et al. (2004) traten in der bewässerten Variante sehr niedrige Werte für  $\psi_{PD}$  auf, die auf Wasserstress trotz Bewässerung hindeuten. Die Autoren führen dies darauf zurück, dass die bewässerten Reben im Vergleich zu den unbewässerten mehr Wasser verbrauchten, wodurch auch in beiden Varianten ähnliche Bodenwassergehalte auftraten. WILLIAMS und TROUT (2005) weisen darauf hin, dass die Messung von  $\psi_{PD}$  auf bewässerten Flächen zu fehlerhaften Resultaten führen kann, und empfehlen daher eher das Stammwasserpotenzial zu Mittag als Indikator für Wasserstress heranzuziehen.

### **5.2.2 Einfluss der Bewässerung auf den Gaswechsel der Reben**

Die Ergebnisse der Wasserpotenzialmessungen stellten die Grundlage für die Interpretation der Gaswechselleistung dar. Der deutliche Jahreseffekt, der sich bei der Wasserversorgung gezeigt hatte, war auch in den Ergebnissen der Gaswechsellmessungen erkennbar. Die Tagesgänge der Fotosyntheseleistung aus dem Jahr 2005 zeigen keine Verminderung der Fotosynthese durch Trockenheit in der nicht bewässerten Variante. Anders verhielt es sich 2004: Hier war bei den Messungen Mitte August an beiden Standorten in Andau eine Reduktion der Fotosyntheseleistung zu Mittag in der nicht bewässerten Variante um ca. 30 % gegenüber der normal bewässerten Kontrolle zu beobachten, wobei das Predawn Water Potential bei  $-0,12$  MPa lag. Dies bedeutet, dass bereits bei mildem Wasserstress, oberhalb der Bewässerungsschwelle von  $-0,25$  MPa mit einer Reduktion der Fotosyntheseleistung zu Mittag zu rechnen ist. Zu einem ähnlichen Ergebnis gelangen WILLIAMS und TROUT (2005), die bei  $-0,12$  MPa Predawn Water Potential eine Reduktion der Fotosyntheseleistung um 18 % gegenüber der bewässerten Kontrolle maßen.

Anfang September des gleichen Jahres wurde die Fotosyntheseleistung in den unterschiedlichen Laubwandbereichen am Trockenstandort B3 gemessen. Zu diesem Zeitpunkt betragen die Einbußen bis zu 70 % gegenüber der bewässerten Kontrolle, zugleich war das Predawn Water Potential bereits auf  $-0,38$  MPa gesunken. Bei einem  $\psi_{PD}$  von  $-0,33$  MPa beobachteten GOMEZ del CAMPO et al. (2002) eine Reduktion der Fotosyntheserate um 44 % gegenüber der bewässerten Kontrolle, WILLIAMS und TROUT (2005) berichten, dass die Fotosyntheseleistung der Reben ohne Zusatzbewässerung bei  $\psi_{PD}$  von  $-0,50$  MPa um 55 % herabgesetzt war. Bei sehr starkem Wasserstress

im Jahresverlauf, wobei  $\psi_{PD}$  der nicht bewässerten Reben auf bis zu -0,70 MPa sank, beobachtete LOPES (1999) bis zu 90 % Einbußen in der Fotosyntheserate. Ein Grund für das unterschiedliche Ausmaß der Reduktion der Fotosyntheseleistung dürfte auch im Blattalter sowie in der Zeitdauer und in dem Grad der Wasserstresssituation liegen. Bei starkem Wasserstress kann es zu Störungen im Fotosyntheseapparat kommen, von denen sich die Blätter auch bei neuerlicher Wassergabe nicht erholen können (CIFRE et al. 2005). Wenn dieser Stress auch noch über mehrere Wochen andauert, ist anzunehmen, dass es zu einer irreversiblen Veränderung in den Blättern kommt. Dies kann durch vorzeitige Alterung (Vergilben und Blattfall) der Blätter im unteren Laubwandbereich sichtbar werden, wie es im Jahr 2003 beobachtet wurde. Andererseits zeigten PATAKAS et al. (1997) auf, dass bei alten Blättern bereits bei höherem Wasserpotenzial die Stomata schließen, und somit Blätter im unteren Laubwandbereich gegen Ende der Saison bei Wasserstress eine stärkere Reduktion in der Fotosyntheseleistung zeigen als junge Blätter.

Die Auswertung der Tagesgänge ergab, dass die höchste Fotosyntheseleistung abhängig von der Wasserversorgung meistens bereits vor Mittag erreicht wurde. Deutlich wurde dieser Unterschied bei der Messung im August 2004 am Standort B3, wo in der nicht bewässerten Variante bereits um 10:00 die maximale Fotosyntheseleistung erzielt wurde, die danach abfiel, während in den bewässerten Varianten die Fotosyntheseleistung noch bis zu Mittag anstieg. Im Gegensatz dazu gab es 2005 nur einen leichten Rückgang der Fotosyntheseleistung zu Mittag, da die Kurven generell sehr flach verliefen.

Das Absinken der Fotosynthese im Tagesverlauf nach einem Maximum am Morgen ist eine typische Reaktion auf mangelnde Wasserverhältnisse, die bei vielen Pflanzen auftritt (LARCHER 1994). Neben Wasserstress, hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchtigkeit dürfte hier allerdings noch ein weiterer Effekt eine Rolle spielen. In den eigenen Untersuchungen zeigte sich, dass am Morgen neben niedrigen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit auch eine etwas höhere  $CO_2$ -Konzentration im Rebbestand vorhanden war. Diese höhere  $CO_2$ -Konzentration trägt zusätzlich zu einer höheren Fotosyntheseleistung in den Morgenstunden bei. Zu gleichen Ergebnissen gelangten auch SIPIORA und LISSARRAGUE (1999), die ein Absinken der Fotosyntheseleistung im Tagesverlauf in Abhängigkeit des  $CO_2$ -Gehaltes in der Luft feststellen konnten.

Interessant ist allerdings, dass bei der ersten Messung im Jahr 2005 unmittelbar nach einem Bewässerungsgang keine Unterschiede zwischen den Varianten bestanden, obwohl zuvor während einer längeren Phase trockene und heiße Witterung geherrscht hatte. Eine mögliche Erklärung ist die generell gute Wasserversorgung, da  $\psi_{PD}$  auch in der unbewässerten Variante lediglich -0,08 MPa betrug. Dadurch waren auch die Unterschiede im Bodenwassergehalt zwischen den Bewässerungsvarianten nur gering. Andererseits könnte es auch sein, dass eine mögliche Veränderung durch die Bewässerung noch nicht messbar war, da die Rebe einige Tage benötigt, um sich nach einem Bewässerungsgang von der Trockenheit zu erholen, und der Erholungseffekt noch nicht eingetreten ist (DÜRING 1988).

Die stomatäre Leitfähigkeit stellt einen wichtigen Parameter bei der Beurteilung der Wasserversorgung der Reben dar, da sie Auskunft über das Verhalten der Stomata gibt. Als besonders geeignet für die Beurteilung des Wasserhaushalts der Reben wird die stomatäre Leitfähigkeit bei maximaler Fotosyntheseleistung gesehen (CIFRE et al. 2005, FLEXAS et al. 2004). FLEXAS et al. (2004) und CIFRE et al. (2005) teilen die Messwerte für stomatäre Leitfähigkeit in drei Bereiche ein: Wenn  $g_s$  größer als  $0,15 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  ist, besteht kein Wasserstress und es kommt in der Regel zu keiner Reduktion der Fotosyntheseleistung. Liegt  $g_s$  zwischen  $0,15$  und  $0,05 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , so besteht moderater Stress und Rückgänge in der Fotosyntheseleistung sind primär durch stomatäre Limitation bedingt. Wenn  $g_s$  unter  $0,05 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  fällt, herrscht bereits großer Wasserstress, und der fotosynthetische Metabolismus ist gestört. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch DÜRING (1987): Er sieht als optimalen Bereich der stomatären Leitfähigkeit  $0,06$  bis  $0,11 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  an, wo durch partiellen Stomataschluss die höchste WUE vorliegt, weist aber auch darauf hin, dass es sortenspezifische Unterschiede gibt.

Vergleicht man diese Einteilung mit den vorliegenden Ergebnissen, so ist zu sehen, dass  $g_s$  fast immer in jenem Bereich lag, in dem kein oder höchstens moderater Wasserstress herrschte. Im Jahr 2004 fiel die stomatäre Leitfähigkeit auch bei den beiden Tagesgängen an den Standorten B3 und B4, wo die nicht bewässerten Reben bereits eine niedrigere Fotosyntheserate hatten als die bewässerten, nicht unter  $0,18 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Nur bei den Messungen Anfang September 2004, als die Blätter der Reben ohne Bewässerung nur mehr 30 % der Fotosyntheserate der Blätter mit Bewässerung zeigten, war auch eine deutliche Reaktion der stomatären Leitfähigkeit zu sehen, die auf  $0,03 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  abgefallen war.

Im Jahr 2005 lag die stomatäre Leitfähigkeit relativ hoch und betrug bei maximaler Fotosyntheseleistung ca.  $0,20 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dass die stomatäre Leitfähigkeit auch an einem sehr heißen Tag wie dem 29.07.05 zu Mittag nur geringfügig niedriger lag als am Vormittag, ist ein weiterer Hinweis auf ausreichende Wasserversorgung, die trotz großem Dampfdruckdefizit in der Luft den Gasaustausch aufrecht hielt. Dies stimmt mit Ergebnissen von DÜRING (1976) und PATAKAS et al. (2005) überein, wonach bei ausreichender Wasserversorgung auch bei sehr niedriger relativer Luftfeuchtigkeit die Stomata geöffnet bleiben, während bei Trockenheit die Stomata auf sinkende Luftfeuchtigkeit mit Schließen reagieren.

Es hat sich in verschiedenen Untersuchungen (SIPIORA und LISSARAGUE 1999, LOPES 1999, MEDRANO et al. 2003, WLLIAMS und TROUT 2005) gezeigt, dass es enge Zusammenhänge zwischen Predawn Water Potential und stomatärer Leitfähigkeit bei maximaler Fotosynthese gibt. Auch die eigenen Ergebnisse wurden auf diesen Zusammenhang geprüft. Da aber gerade im Bereich des Wasserstresses ( $g_s > 0,10\text{-}0,15 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) nur sehr wenige Messpunkte vorlagen, war der Zusammenhang mit dem Predawn Water Potential nicht so klar ersichtlich. Dennoch konnte man die Tendenz erkennen, dass der Bereich der „Bewässerungsschwelle“ von  $-0,25 \text{ MPa}$  Predawn Water Potential auch jener ist, ab dem die stomatäre Leitfähigkeit zu sinken beginnt.

Die Water Use Efficiency (WUE) der Fotosynthese ist ein Maß für die Wasserausnutzung, da sie sich aus dem Quotient zwischen Fotosyntheserate und Transpiration berechnet. Die WUE als Maßzahl zur Beschreibung des Gaswechsels der Reben wurde bereits von ALLEWELDT et al. (1982), DÜRING (1987, 1988) und EIBACH und ALLEWELDT (1984) verwendet. In jüngeren Untersuchungen wird oftmals die „intrinsic WUE“ berechnet (SCHULTZ et al. 1996, De SOUZA et al. 2003, FLEXAS et al. 2004), die die Fotosyntheserate nicht in Beziehung zur Transpiration, sondern zur stomatären Leitfähigkeit setzt. In der vorliegenden Untersuchung wurde allerdings die klassische Form der WUE gewählt, da sie den Bezug zum tatsächlichen Verbrauch an Wasser darstellt und nicht nur zur Öffnungsweite der Stomata wie die intrinsic WUE. Außerdem haben Untersuchungen von EIBACH und ALLEWELDT (1984) gezeigt, dass es Zusammenhänge zwischen der WUE der Fotosyntheseleistung und der Substanzproduktion im Verhältnis zum tatsächlichen Wasserverbrauch gibt.

Die Water Use Efficiency war im Tagesverlauf immer bei der ersten Messung, bei der die Laubwand voll besonnt wurde, mit 6,0 und 10,0 am höchsten. Zu diesem morgendlichen Zeitpunkt herrschten an warmen Sommertagen die günstigsten Verhältnisse: Die Temperaturen waren noch niedrig, bei hohen Temperaturen sinkt nach ALLEWELDT et al. (1982) die WUE ab und die relative Luftfeuchtigkeit war noch hoch, sodass durch das geringe Dampfdruckdefizit noch wenig Transpirationsbedarf bestand (DÜRING 1987). Zugleich war die Sonneneinstrahlung bereits im gesättigten Bereich, sodass hohe Fotosyntheseleistung bei geringer Transpiration möglich war. Bereits kurz nach dieser Messung fiel die WUE ab, und lag im weiteren Tagesverlauf gleich bleibend bei ca. 2,00 bis 3,50. Einen ähnlichen Tagesgang ermittelten auch SIPIORA und LISSARAGUE (1999). Die Werte für die WUE lagen jedoch mit 4,70 bis 6,90 in der Früh und 1,30 bis 1,66 zu Mittag etwas niedriger als in den eigenen Untersuchungen. Ein eindeutig signifikanter Einfluss der Bewässerungsvarianten auf die WUE konnte in den eigenen Untersuchungen nicht ermittelt werden, aber die WUE lag tendenziell in der nicht bewässerten Variante höher als bei den bewässerten. Im Vergleich dazu berichten DÜRING (1987), EIBACH und ALLEWELKDT (1984) sowie SOUZA et al. (2005), dass es unter Wassermangel zu einer Verbesserung der WUE kommen kann, da die Transpiration stärker eingeschränkt wird als die Fotosynthese. Andererseits konnte in den eigenen Untersuchungen auch keine Verschlechterung der WUE durch die doppelte Bewässerung im Vergleich zu normaler Bewässerung festgestellt werden. Das bedeutet, dass es zu keinem „Luxuskonsum“ an Wasser trotz doppelter Wassermenge kam.

Die Lichtkurven (A-Q- Kurven), die im Jahr 2004 an Blättern der verschiedenen Versuchsvarianten gemessen wurden, unterschieden sich nicht statistisch voneinander. Bei der ersten Messung Mitte Juli 2004 war wahrscheinlich mangelnder Wasserstress dafür verantwortlich. Bei der zweiten Messung herrschte allerdings bereits milder Wasserstress ( $\psi_{PD}$  der unbewässerten Reben betrug -0,20 MPa) und es war schon dreimal bewässert worden. Die Kurven wurden aber alle bei Bewölkung und eher kühlen Temperaturen gemessen. Es ist möglich, dass sich bei niedrigen Temperaturen und hoher

Luftfeuchtigkeit der milde Wasserstress noch nicht auf die Fotosyntheseleistung auswirkte, aber bei heißer und trockener Witterung bereits zu einer Verringerung der Fotosyntheserate zu Mittag führte.

Im Zuge der Untersuchungen über den Gaswechsel bei unterschiedlicher Wasserversorgung wurde bereits deutlich, dass neben Wasser und Blattalter auch andere Faktoren, wie z.B. Kaliummangel und Lichtstress, einen entscheidenden Einfluss auf den Gaswechsel haben. Da auf dem Standort B4 deutliche Kaliummangelsymptome an den Blättern auftraten, wurde der Gaswechsel dieser Blätter mit den gesunden Blättern verglichen. Die Blätter mit Kaliummangelsymptomen hatten bei normaler Bewässerung zu Mittag eine deutlich niedrigere Fotosyntheseleistung, stomatäre Leitfähigkeit und WUE als die Blätter der nicht bewässerten Variante ohne Kaliummangelsymptome. Zugleich war das Blattwasserpotenzial bei Kaliummangel im gesamten Tagesgang höher als bei den gesunden Blättern der Bewässerungsvarianten. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangen auch DUNDON und SMART (1984) bei Kaliumdüngungsversuchen, die in den ungedüngten Varianten bei niedrigeren Blattkaliumgehalten höhere Blattwasserpotenziale im Tagesverlauf als in der ungedüngten Variante beobachteten. Das höhere Wasserpotenzial bedeutet aber nicht, dass bei Kaliummangel der Wasserstress vermindert wird, sondern vielmehr, dass bei Wasserstress ein erhöhter Kaliumbedarf besteht, um den Gasaustausch aufrecht zu erhalten (CAKMAK 2005, MARSCHNER 2002). Im Gegensatz zu der Verminderung der Fotosyntheseleistung bei Wasserstress, bei der die WUE gleich bleibt oder erhöht wird, wurde die WUE durch Kaliummangel vermindert. Dies weist darauf hin, dass die Reduktion nicht hauptsächlich durch Stomataschluss zustande kam, sondern innere Faktoren im Fotosyntheseapparat gestört waren (MEDRANO et al. 2003).

Am Standort B4 zeigte zudem der Tagesverlauf am 06.08.04, dass gesunde nicht gestresste Blätter stabiler gegenüber Licht oder Temperaturstress durch die direkte Sonnenbestrahlung sind als trockengestresste Blätter oder Blätter mit Kaliummangelsymptomen. Bei diesem Tagesgang war bei den Blättern der nicht bewässerten Reben und Blättern mit Kaliummangel eine deutliche Mittagsdepression auf der O-Seite der Laubwand zu sehen. Auf der erst seit kurzem direkt von der Sonne bestrahlten Westseite der Laubwand trat diese Depression jedoch nicht auf. Vermutlich waren dafür Licht- und Temperaturstress auf der lange besonnten Ostseite verantwortlich, zwei Faktoren also, die umso eher wirksam werden, je mehr die Blätter bereits durch Trockenheit gestresst sind (DÜRING 1988 und IACONA und SOMMER 1991).

### **5.3 Diskussion Gaswechsel der Blätter unterschiedlicher Insertionshöhen im Jahresverlauf**

Die Auswertung der Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit von der Blattinsertion am Trieb bzw. vom Blattalter zu verschiedenen Terminen zeigte für alle Standorte bis zur Blüte einen deutlichen Kurvenverlauf bei dem die Blätter unterhalb und in der Traubenzone die höchste Fotosyntheserate aufwiesen, während die jungen, noch wachsenden Blätter geringe Fotosyntheseraten, und frisch entfaltete Blätter zum Teil sogar eine negative Fotosyntheserate hatten. Nach der Blüte verschob sich die Zone mit der höchsten Fotosyntheserate von den Blättern der Traubenzone schnell in die oberen Laubwandbereiche. Außerdem war bei den Messungen nach der Blüte der Kurvenverlauf in Abhängigkeit von der Insertionshöhe, das heisst die Abnahme der Fotosyntheseleistung Richtung Triebspitze, nicht mehr so ausgeprägt wie vor der Blüte. Diese Beobachtung machten auch PONI et al. (1994) bei Messungen an waagrecht wachsenden, gut belichteten Trieben. Sie ermittelten vor Reifebeginn Kurvenverläufe mit einem Optimalbereich, nach Reifebeginn allerdings trat anstelle dieser Kurvenverläufe ein kontinuierlicher Anstieg der Fotosyntheseleistung mit zunehmender Insertionshöhe auf. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass vor und zur Zeit der Blüte die Blätter der Traubenzone eine wichtige Rolle in der Assimilatproduktion spielen, während zu Reifebeginn die Hauptproduktion bereits in weiter oben inserierten Blattzonen liegt.

Vergleicht man die zeitliche Veränderung der Insertionshöhe mit der höchsten Fotosyntheseleistung bei den eigenen Untersuchungen an der Sorte Zweigelt mit dem Verlauf der Trennzone der Assimilatwanderung entlang eines Rebtriebes in der Vegetationsperiode, wie sie von KOBLET (1969) bei Müller Thurgau beschrieben wurde, so ist zu sehen, dass die beiden Verläufe einander ähnlich sind (Abbildung 66). Die Trennzone der Assimilatwanderung beschreibt jene Insertionshöhe am Rebtrieb, wo oberhalb davon die Assimilate der Blätter zur wachsenden Triebspitze wandern und unterhalb davon die Assimilate in Richtung Triebbasis (und Trauben nach der Blüte). Vor der Blüte liegt nach KOBLET (1969) die Trennzone der Assimilatwanderung im Bereich der 4. bis 5. Insertion, und damit etwas höher als die in den vorliegenden Untersuchungen festgestellte Zone der maximalen Fotosyntheserate, die sich zu diesem Zeitpunkt zwischen 2. und 4. Insertion befand. Bereits kurz nach der Blüte verlagert sich die Trennzone der Assimilatwanderung rasch (ähnlich dem Fotosynthesemaximum der eigenen Untersuchungen) zur 8. bis 9. Insertion und liegt bei Reifebeginn bei der 13. Insertion (KOBLET 1969). Dieser Vergleich zeigt, dass die Wanderungsrichtung der Assimilate eng verbunden ist mit der Entwicklung der Fotosyntheseleistung der Blätter in den einzelnen Insertionshöhen.

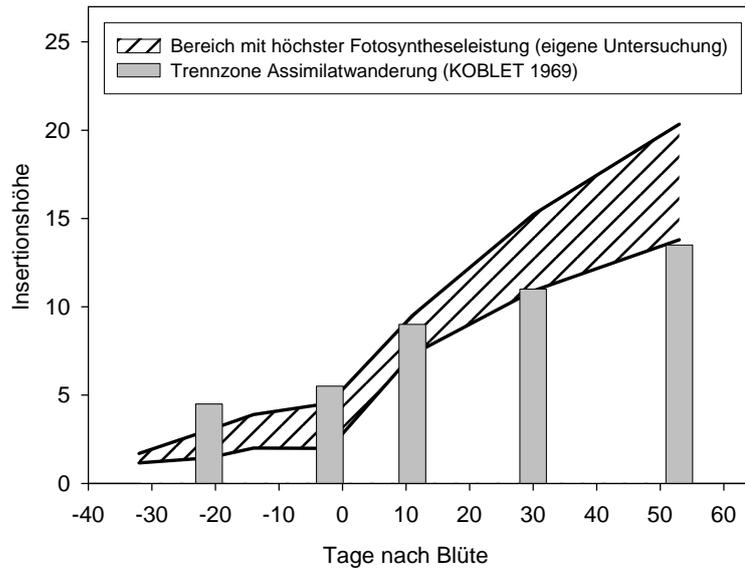


Abbildung 66: Vergleich der Bandbreite der Blattinsertionshöhe höchster Fotosyntheseleistung am Rebtrieb aus den eigenen Untersuchungen mit der Trennzone der Assimilatwanderung nach KOBLET (1969) in Bezug zum Blütezeitpunkt

Auch wenn die Zone der Blätter mit der höchsten Fotosyntheseleistung nach der Blüte kontinuierlich zu den oberen Insertionen wandert, sind die Blätter im unteren Laubwandbereich in der Zeit des Reifebeginns der Beeren nicht mehr nutzlos. Die Ergebnisse bei Zweigelt zeigen, dass die Verminderung der Fotosyntheseleistung gegenüber den Blättern mit der höchsten Leistung auf allen drei Standorten im Durchschnitt nicht mehr als 40 %, in der Regel nur ca. 30 % betrug. Weiters konnte in den eigenen Untersuchungen nachgewiesen werden, dass die alten Blätter eine hohe WUE hatten, also einen geringeren Verbrauch an  $H_2O$  je Mol assimilierten  $CO_2$  als die jungen Blätter. Der positive Beitrag bereits älterer Blätter zur Assimilationsleistung des gesamten Stockes wird auch durch die Auswertung der Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit vom Blattalter (in Tagen) unterstrichen.

Der gesamte Kurvenverlauf der Fotosyntheseleistung in Abhängigkeit vom Blattalter war durch einen schnellen Anstieg der Fotosyntheseleistung nach Blättentfaltung gekennzeichnet, sodass bereits mit einem Blattalter von 4 bis 8 Tagen 50 % der maximalen Fotosyntheseleistung erzielt wurde und nach 17 bis 24 Tagen 90 % der maximalen Leistung. Die höchste Fotosyntheseleistung wurde mit einem Blattalter von 30 bis 41 Tagen erreicht. Diese Ergebnisse stimmen mit Untersuchungen von PONI et al. (1994), KRIEDEMANN et al. (1970) und BERTAMINI und NEDUNCHEZHIAN (2003) überein, die berichten, dass die maximale Fotosyntheseleistung bei einem Blattalter von 30 bis 35 Tagen erzielt wird, sobald die Blätter ihre volle Größe erreicht haben. Bei Untersuchungen von INTRIERI et al. (2001) trat die maximale Fotosyntheseleistung erst bei ca. 50 Tagen ein.

Die eigenen Ergebnisse zeigten, dass nach Erreichen des Maximums ein Rückgang der Fotosyntheseleistung mit zunehmendem Blattalter folgte, der aber langsam vor sich ging, sodass gesunde Rebblätter bei ausreichender Belichtung und Wasserversorgung lange eine relativ hohe Fotosyntheseleistung bei einer zugleich hohen WUE aufwiesen. Dies entspricht den Ergebnissen von INTRIERI et al. (2001), PONI et al. (1994) und KRIEDEMANN et al. (1970). In den eigenen Untersuchungen hatten die ältesten gemessenen Blätter ein Alter von ca. 100 Tagen, zu diesem Zeitpunkt betrug die Fotosyntheseleistung je nach Standort noch 65 % bis 75 % der Maximalleistung. SCHULTZ et al. (1996) zeigten, dass Haupttriebblätter sogar über einen Zeitraum von mehr als 100 Tagen eine beinahe konstant hohe Fotosyntheserate aufrechterhalten können, ohne dass es zu einer Reduktion kommt. BERTAMINI und NEDUNCHEZHIAN (2003) berichten hingegen, dass Blätter zwischen 100 und 120 Tagen nur noch 25 % ihrer Maximalleistung hatten. SCHULTZ et al. (1996) verweisen darauf, dass ein starker Rückgang der Fotosyntheserate mit zunehmendem Blattalter auf vorzeitige Alterung durch Trockenheit und Hitze zurückzuführen ist.

BERTAMINI und NEDUNCHEZHIAN (2003) weisen darauf hin, dass der Verlauf in der Fotosyntheseleistung während der Blattentwicklung mit Änderungen der Blattinhaltsstoffe verbunden ist. Soeben ausgewachsene Blätter zeigen die höchsten Gehalte an Chlorophyll (Chl. a+b), Proteinen (gesamte lösliche Proteine, sowie Rubisco und Nitrat Reduktase).

Das Alter der Blätter wurde in den eigenen Untersuchungen als Tage nach dem Entfalten angegeben und nicht, wie oft empfohlen (SCHULTZ 1993, ZUFFEREY und MURISIER 2000), als Leaf Plastochron Index (LPI). Beim LPI werden die Blätter nach der Reihenfolge ihres Erscheinens durchnummeriert, das Pflanzenalter wird durch die Anzahl der vorhandenen Blätter definiert. Der Vorteil des LPI wird darin gesehen, dass vor allem im Frühjahr das Triebwachstum und damit auch die Rate der Blattneubildung sehr stark temperaturabhängig sind. Der LPI soll eine Möglichkeit darstellen, diese Umweltfaktoren auszuschließen und so vergleichbare Ergebnisse zu liefern (SCHULTZ 1993b). Der LPI ist insofern kritisch zu sehen, als die Rate der Blattneubildung im Jahresverlauf aber immer geringer und auch weniger temperaturabhängig wird. Daher nimmt das Alter der Blätter bezogen auf ihren LPI gegen Ende der Saison immer langsamer zu als in Bezug auf das Blattalter in Tagen. Folglich ist die Aussagekraft des LPI für das Verhalten von alten Blättern schlecht und die Verwendung des LPI für praxisbezogene Fragestellungen, wie zum Beispiel Optimierung der Laubarbeit, nicht geeignet.

Die maximale Fotosyntheserate lag bei Schattenblättern um ca. 30 % niedriger als bei Sonnenblättern. Bei der WUE waren die Unterschiede nicht so deutlich, jedoch bestand auch hier die Tendenz, dass vor allem die jungen Schattenblätter eine niedrigere WUE hatten. Auch bei Untersuchungen von PALLIOTTI et al. (2000) war bei Schattenblättern die Reduktion der Fotosyntheserate stärker als die der Transpiration, wodurch es zu einer geringeren WUE bei Schattenblättern kam.

Messungen von Lichtblättern und Schattenblättern bei gesättigtem Lichtangebot an den drei Standorten mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsweise wiesen auf eine adaptive Anpassung der

Schattenblätter auf die geringere Sonneneinstrahlung hin. Signifikant waren diese Unterschiede allerdings nur bei jenen Blättern, die im inneren der Laubwand permanent beschattet wurden. Dies fand bei den sehr wüchsigen, nieder erzogenen Reben in einer Dichtpflanzung des Standortes A2 in Mönchhof im mittleren Laubwandbereich statt. In der durch die sehr hohe Triebzahl dichten Laubwand am trockenen, schotterreichen Standort B3 lagen die Blättern unterhalb der Traubenzone vollständig im Schatten.

Der sehr nahe gelegene Standort B4 in Andau hatte wüchsiger Reben allerdings mit einer geringeren Triebzahl, zusätzlich zeigten sich starke Probleme mit Kaliummangel. An diesem Standort lagen die Blätter wie bereits in Kapitel 5.1 beschrieben in der sehr lockeren Laubwand nie vollständig im Schatten, sodass eine Anpassung an geringe Lichtverhältnisse, die zu geringeren maximalen Fotosyntheseraten führen, nicht stattfinden konnte.

Eine modifikative Anpassung der Reblätter an das niedrigere Lichtregime, wie sie hingegen im unteren oder inneren Bereich der Laubwand erfolgt, findet hauptsächlich während der Anlage und Ausdifferenzierung der Blätter statt (LARCHER 1994). Schattenblätter zeigen typische morphologische und physiologische Veränderungen, wie eine dünnere Wachsschicht, geringere Blattdicke, höheren Wassergehalt. Sie besitzen Carotinoid-Gehalte und haben einen kleineren Xanthophyll-Pool als Sonnenblätter. Neben der Verringerung der maximalen Fotosyntheserate zeigen sie auch eine geringere Dunkelatmung und geringeres Quantum Requirement im Schwachlichtbereich (OROIZDE und DÜRING 2001, PALLIOTTI et al. 2000). Die Verringerung der Fotosyntheserate ist nach SCHULTZ et al. (1996) auf eine verminderte Carboxylierungseffizienz zurückzuführen.

## 5.4 Diskussion Gaswechsel der einzelnen Laubwandzonen

Die Ergebnisse der Gaswechselfmessungen in den drei Laubwandzonen unten, mitte, oben verhielten sich hinsichtlich der Ausprägung der Standortunterschiede gegensätzlich zu den Messungen jedes einzelnen Blattes entlang eines markierten Rebtriebes (Kapitel 5.3). Während sich bei der Beprobung aller Blätter am Trieb Standortunterschiede hinsichtlich durchschnittlicher Fotosyntheseleistung und Blattalterung abzeichneten, waren diese bei der Beprobung von zufällig verteilten Blättern aus den Laubwandzonen nicht zu erkennen. Dies lässt sich durch die unterschiedliche Messmethode erklären. Bei den Untersuchungen in den einzelnen Laubwandzonen wurden ausschließlich gut entwickelte, direkt belichtete Blätter an der Laubwandaußenseite gemessen. Dadurch wurden der Aufbau der Laubwand und die Triebstellung, sowie der Anteil der belichteten Blätter nicht mit einbezogen.

Daher gaben diese Messungen aus den unterschiedlichen Zonen keine Auskunft über die Fotosyntheseleistung des ganzen Rebtriebes oder der gesamten Laubwand, sondern nur von optimal belichteten unversehrten Einzelblättern. Dies hat zur Folge, dass die Unterschiede zwischen den Standorten verschwanden, da die gut belichteten Blätter an allen Standorten eine ähnlich hohe Fotosyntheseleistung hatten, und die Fotosyntheseleistung insbesondere an den Standorten B3 und B4 besser dargestellt wurde, als sie tatsächlich war. Dies stimmt mit Ergebnisse von PONI et al. (1997) und INTRIERI et al. (1997) überein, die aufzeigen, dass die Fotosyntheseleistung eines ganzen Stockes bei Berechnungen ausgehend von Einzelblättern meist zu hoch gegriffen ist. INTRIERI et al. (1997) weisen aber auf das Verhältnis zwischen Fotosyntheseleistung von Einzelblättern und der gesamten Laubwand hin. Je näher die maximale Fotosyntheseleistung der gesamten Laubwand der von optimal belichteten Einzelblättern kommt, umso effizienter ist die Laubwand aufgebaut (INTRIERI et al. 1997).

Ein limitierender Faktor in den eigenen Untersuchungen, der die Fotosyntheseleistung des gesamten Triebes gegenüber den gut besonnten Einzelblättern herabsetzte, war insbesondere ein hoher Anteil am beschatteten Blättern am Standort B3. SCHULTZ (1995) weist auch darauf hin, dass für eine optimale Fotosyntheseleistung des Stockes die Verteilung der Blätter mit unterschiedlichem Blattalter in der Laubwand entscheiden ist. Es ist also wichtig, dass die erwachsenen Blätter einen hohen Lichtgenuss erhalten, da sie die höchste Fotosyntheseleistung erbringen. In den eigenen Untersuchungen zeigte sich aber, dass gerade bei einer dichten Laubwand wie am Standort B3 die erwachsenen Blätter im untersten Laubwandbereich zunehmend von den nachwachsenden, jüngeren Haupttriebblättern und Geiztriebblättern beschattet werden, wodurch es zu einer schnelleren Alterung der Blätter kam.

ESCALONA et al. (2003) untersuchten den Einfluss von Trockenstress auf die unterschiedlichen Laubwandbereiche, allerdings bei Reben mit einer dreidimensionale Laubwand. Sie zeigten auf, dass die Blätter in den unterschiedlichen Bereichen verschieden auf Wasserstress reagieren, und vor allem Blätter in Laubwandbereichen mit direkter Sonneneinstrahlung schneller auf Wasserstress mit verminderter Fotosyntheseleistung reagieren. Dies bedeutet für die eigenen Untersuchungen, dass

neben der vertikalen Zonierung (unten, mitte und oben) auch eine Einteilung in einen gut belichteten, äußeren Bereich und einen inneren mehr oder weniger beschatteten notwendig gewesen wäre, um den gesamten Rebstock besser zu beschreiben. Im Gegensatz dazu zeigten PONI et al. (2005) auf, dass die Reaktion von Einzelblättern und des gesamten Rebstockes auf Trockenstress vergleichbar ist, und schließen daraus, dass die Messung an gut besonnten Einzelblättern einen guten Indikator für Wasserstress darstellt.

## 5.5 Diskussion Kaliumversorgung

Die Nährstoffanalysen der Blattspreiten zeigten, dass auf den Standorten B3 und C4 auch die optisch gesunden Blätter sehr niedrige Kaliumgehalte aufwiesen. Der Kaliumgehalt der Blattspreiten lag zur Blüte zwischen 0,46 und 0,84 % und damit deutlich unter dem allgemein empfohlenen Wert von 1,20 bis 1,40 % (VANEK 1978, BALO et al. 1988, BERGMANN 1993). Kaliummangelsymptome an Weinreben treten nach VANKEK (1978) ab einem Gehalt von 0,78 % bzw. nach CHRISTENSEN et al. (1990) ab 0,52 – 0,57 % auf, wobei auch ein enger Zusammenhang zwischen Wasserverfügbarkeit und Kaliumversorgung besteht und die Ausprägung von Mangelsymptomen durch Trockenheit gefördert wird (BRANCADORO et al. 1994, CAHOON 1985, GAERTEL 1988, HEPNER und BRAVDO 1985). In den eigenen Untersuchungen betragen die Kaliumgehalte von Blattspreiten mit Kaliummangelsymptomen zwischen 0,27 % bei starker Ausprägung und 0,52 - 0,62 % bei schwachen Symptomen (REDL et al. 2007).

Die beobachteten Kaliummangelsymptome stimmen weitgehend mit den Beschreibungen der verschiedenen Symptome für Kaliummangel in der Literatur überein (WILHELM 1950, GAERTEL 1988, VANEK 1978, BERGMANN 1993, FARDOSSI 2000). Inwieweit dieses Symptom auch mit der „Blackleaf“-Erkrankung identisch ist, die in den USA häufig an Concord-Reben beobachtet wurde (LANG et al 1998, SMITHYMAN et al. 2001), ist unklar.

In den eigenen Untersuchungen zeigte sich, dass Blätter mit Kaliummangelsymptomen bei Messungen unter direkter Sonneneinstrahlung zu allen Terminen eine niedrigere Fotosyntheserate hatten als optisch gesunde Blätter. Bei schwachen Symptomen (Blattglänzen) und einem Kaliumgehalt in der Blattspreite von 0,52 – 0,62 % war der Gaswechsel jedoch nur geringfügig (2-10 %) geringer. Eine sehr starke Reduktion ergab sich aber bei Blättern mit dunkelrotem Rand oder Verbräunung auf der Blattoberfläche bei einem Kaliumgehalt in der Blattspreite von 0,25 – 0,32 %. Hier betrug die Verminderung der Fotosyntheseleistung gegenüber den gesunden Blättern über 50 %. Diese Reduktion kam aber nicht durch die Nekrotisierung oder Verbräunung zustande, da die Fotosyntheseleistung jeweils in den grünen, optisch gesunden, Bereichen der Blätter gemessen wurde. Allerdings beobachteten LANG et al. (1998) bei Fotosynthesemessungen von Blackleaf geschädigten Blättern, dass kein Unterschied zwischen der Fotosyntheseleistung der grünen oder braunen Bereiche bestand. PONI et al. (2003) stellten fest, dass eine Beeinträchtigung der Fotosyntheseleistung von Cabernet Sauvignon Reben erst stattfand, wenn die Blätter erste Mangelsymptome zeigten, was unterhalb eines Blattkaliumgehalts von 0,35 – 0,40 % der Fall war und bestätigten damit die eigenen Werte von 0,25 – 0,32 %. Oberhalb dieses Schwellenwertes gab es bei PONI et al. (2003) keine Unterschiede in der Fotosyntheseleistung, obwohl sich die Blätter in ihrem Kaliumgehalt signifikant unterschieden, jedoch nicht in ihren Mangelsymptomen.

Die stomatäre Leitfähigkeit und Water Use Efficiency zeigten in den eigenen Untersuchungen keine so klare Abstufung in Abhängigkeit von den Mangelsymptomen wie die Fotosyntheseleistung. Bei milden Kaliummangelsymptomen wurde die stomatäre Leitfähigkeit

vermindert, die WUE blieb aber unverändert. Erst bei starkem Kaliummangel (rote Ränder und Verbräunung) nahm auch die WUE deutlich ab.

HUBER (1985) beschreibt, dass die Reduktion in der Fotosyntheseleistung bei Kaliummangel nicht primär auf den geringeren Öffnungsgrad der Stomata zurückzuführen ist, sondern dass die Aktivität und Kapazität des photosynthetischen Apparates bei Kaliummangel vermindert wird. Auch BASILE et al. (2003) beobachteten bei Fotosynthesemessungen an Mandelblättern, dass die Fotosynthese bei Kaliummangel weit stärker vermindert wurde als die stomatäre Leitfähigkeit und schließen daraus, dass der Stomataschluss nicht primär für die Reduktion in der Fotosyntheseleistung verantwortlich ist.

Die Fotosynthese-Lichtkurven (A-Q-Kurven) an Kaliummangelblättern zeigten neben der verminderten maximalen Fotosyntheserate auch den Trend, dass die Dunkelatmung verstärkt und der Lichtkompensationspunkt erhöht wurde. Die verstärkte Dunkelatmung als Folge von Kaliummangel ist laut HUBER (1985) auf den erhöhten Gehalt an Hexosen in den Blättern unter Kaliummangel zurückzuführen. Die Messung der A-Q-Kurven bei CO<sub>2</sub>-Konzentration von 750 ppm sollte Hinweise auf die Kapazität des photosynthetischen Apparates bringen, da in diesem Bereich CO<sub>2</sub>-Sättigung der Fotosynthese zu erwarten ist (DÜRING 1991, SCHULTZ et al. 1996, DÜRING 2003). Bei einem CO<sub>2</sub>-Gehalt, der ca. der doppelten Konzentration in der Außenluft entsprach, wurde der Unterschied in der maximalen Fotosyntheseleistung bei Lichtsättigung zwischen den gesunden und den Kaliummangelpflanzen noch größer als bei normaler CO<sub>2</sub>-Konzentration. Dieses Ergebnis ergänzt die Aussage, dass bei Kaliummangel die Fotosynthese nicht über Stomataschluss eingeschränkt wurde, sondern die fotosynthetische Kapazität bereits beeinträchtigt war. Auch die Verringerung der WUE bei Kaliummangel unterstützt diese Aussage, da eine geringere WUE eine stärkere Reduktion der Fotosyntheseleistung als der Transpiration bedeutet.

Die A-Q-Kurven, die an Blättern auf der Sonnen- und Schattenseite der Rebzeile durchgeführt worden waren, zeigten deutlich dass bei schlechter Kaliumversorgung Stress durch hohe Strahlungsintensitäten verstärkt wird, wie von CAKMAK (2005) beschrieben wurde.

Die Versuche, mittels Kaliumblattdünger die Kaliumversorgung zu verbessern, hatten keinen Erfolg. Daher konnte auch die Auswirkung der Blattdüngeranwendung auf die Fotosyntheseleistung nicht ausgewertet werden.

Da es aber dennoch zu einer Reaktion der Reben auf die Blattdüngerapplikation kam, und zwar zu einer Verminderung der Fotosyntheseleistung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, stellte sich die Frage, wodurch diese Reaktion hervorgerufen wurde. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Aufbringung der Spritzbrühe unabhängig vom Düngemittel einen negativen Einfluss auf den Gaswechsel hatte. Obwohl keine sichtbaren Schäden an den Blättern zu beobachten waren, ist es möglich, dass es durch die Blattdünger zu einer Veränderung im Gaswechsel kam, wie es auch

nach der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln bekannt ist (BOSIAN et al. 1960, MURTHY 1983, FINGER et al. 2002). Die stärkste Reduktion in der Fotosyntheseleistung wurde nach Aufbringung des Düngemittels Nutrileaf erzielt. Dieses Präparat ist ein Mehrnährstoffdünger, der neben Kalium auch noch weitere Makro- und Mikroelemente und Zusatzstoffe enthält, die möglicherweise für die stärkere Reduktion des Gaswechsels mitverantwortlich sind. Vergleichbare Untersuchungen zur Wirkung von Blattdüngern auf den Gaswechsel von Reben gibt es nicht. VEBERIC et al. (2007) beobachteten allerdings bei Blattdüngungsversuchen mit Phosphor und Kalium an Äpfeln, dass es durch die Düngeraufbringung zu keiner Veränderung im Gaswechsel kam, und die Blätter durch die Spritzungen nicht gestresst wurden.

Auch die Bodendüngungsversuche mit einer Kaliumdüngerlösung im Wurzelbereich der Reben konnte die Kaliumversorgung nicht signifikant steigern, auch wenn im Mittel tendenziell durch die Düngeranwendung eine Verbesserung festzustellen war. Da bei den Reben aber kein starker Mangel vorlag, und auch die Messungen immer an optisch gesunden Blättern durchgeführt wurden, war der Unterschied im Kaliumgehalt vermutlich zu gering, um sich in der Fotosynthese auszudrücken. Eine weitere Erklärung könnte die großen Inhomogenitäten zwischen den einzelnen Stöcken sowie die geringe Stockzahl je Variante sein.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Gaswechsel an Hand der Fotosyntheseleistung ( $A$ ), Water Use Efficiency (WUE) und stomatären Leitfähigkeit ( $g_s$ ) sowie das Wasserpotenzial ( $\psi$ ) von Weinreben (*Vitis vinifera* L.) der Sorte Zweigelt unter den pannonischen Klimabedingungen des Nordburgenlandes in den Jahren 2004 und 2005 untersucht.

Die Ergebnisse waren gekennzeichnet durch die sehr unterschiedlichen Niederschlagsverhältnisse in den beiden Versuchsjahren. Während im Jahr 2005 bei ausreichenden Niederschlägen das Predawn Water Potential (Gesamtwasserpotenzial vor Sonnenaufgang,  $\psi_{PD}$ ), das als Indikator für die Wasserversorgung der Reben dient, nicht unter  $-0,18$  MPa sank, herrschte im Jahr 2004 von Mitte Juli bis Anfang September eine lange Trockenperiode, wodurch  $\psi_{PD}$  in der unbewässerten Variante auf  $-0,42$  MPa bzw. bei normaler betriebsüblicher Tropfbewässerung oder doppelter Wassergabe auf  $-0,27$  MPa absank. Trotz der Trockenheit wurden im Jahr 2004 bis Mitte August mit  $12$  bis  $17 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  zu Mittag ähnlich hohe Fotosyntheseleistungen erzielt wie an sehr heißen Tagen im feuchten Jahr 2005. Erst gegen Ende August 2004 wurde der Gaswechsel durch die anhaltende Trockenheit ohne Zusatzbewässerung deutlich verringert. Der Einsatz der doppelten Bewässerungsmenge brachte keine Verbesserung gegenüber der betriebsüblichen Bewässerung. Der Vergleich der Fotosyntheseleistung mit dem Predawn Water Potential zeigte, dass erst unterhalb von  $-0,25$  MPa eine Verminderung der maximalen Fotosyntheseleistung bei abnehmendem Predawn Water Potential bestand.

Messungen des Gaswechsels in Abhängigkeit von der Insertionshöhe der Blätter während der Vegetationsperiode 2005 ergaben, dass generell bei guter Wasserversorgung Blätter in und unterhalb der Traubenzone über einen langen Zeitraum eine hohe Fotosyntheserate bei gleichzeitig hoher WUE aufrechterhalten können. Bereits 17 bis 24 Tage nach Blattentfaltung erreichten die Blätter 90 % ihrer maximalen Fotosyntheserate, das Maximum wurde nach 30 bis 40 Tagen erreicht. Auch nach 100 Tagen erbrachten die Blätter im Durchschnitt noch 65 – 75 % ihrer maximalen Fotosyntheseleistung.

Die Ergebnisse waren beeinflusst durch die unterschiedliche Rebenkultivierung des jeweiligen Standorts. In einer Anlage mit Dichtpflanzung mit niedriger Erziehung und hoher, schlanker, wüchsiger Laubwand zeigten die Blätter die durchschnittlich höchste Fotosyntheseleistung und langsamste Alterung. Die niedrigste Fotosyntheseleistung und schnellste Blattalterung wurden bei schwachwüchsigen Reben auf einem schottrigen Boden mit hoher Triebzahl und dichter Laubwand gemessen. Bei Reben mit sehr lockerer Laubwand kam es durch die starke direkte Sonneneinstrahlung und Windbelastung ebenfalls zu einer verminderten Fotosyntheseleistung. Diese Stresssituation wurde durch Kaliummangel weiter verstärkt. Reblätter mit bereits stark ausgeprägten Kaliummangelsymptomen wiesen deutliche Einbußen in der Fotosyntheseleistung und WUE gegenüber symptomfreien Blättern auf.

## 7 Literatur

- Alleweldt, G., Eibach, R., Rühl, E. 1982: Untersuchungen zum Gaswechsel der Rebe I. Einfluss von Temperatur, Blattalter und Tageszeit auf Nettophotosynthese und Transpiration. *Vitis* 21: 93-100
- Anonym 2003: Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Weinbau. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. 1. Auflage
- Araujo, F.J., Urdaneta, T., Marin, M., Williams, L.E. 1999: Effect of irrigation regime on photosynthesis and leaf water potential of *Vitis vinifera* L. (cv. Alphonse Lavallé) in Venezuela. *Acta Hort.* 493: 219-223
- Balo, E., Prileszky, G., Happ, I., Köhalmi, M., Varga, L. 1988: Die Rolle der Blattanalyse bei der Optimierung der Nährstoffversorgung der Rebe. *Mitteilungen Klosterneuburg* 38: 164-169
- Basile, B., Reidel, E.J., Weinbaum, S.A., DeJong, T.M. 2003: Leaf potassium concentration, CO<sub>2</sub> exchange and light interception in almond trees (*Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb). *Sci. Hort.* 98: 185-194
- Bergmann, W. 1993: Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena
- Bertamini, M., Nedunchezian, N., 2003: Photosynthetic functioning of individual grapevine leaves (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) during ontogeny in the field. *Vitis* 42: 13-17
- Bosian, G., Paetzholdt, M., Emsgraber, A. 1960: Über die Beeinflussung der CO<sub>2</sub>-Assimilation der Rebe durch Pflanzenschutzmittel. *Proceedings IV Intern. Pflanzenschutz Kongr., Hamburg, Band II*, 1517-1525
- Brancadoro, L., Valenti, L., Reina, A., Scienza, A. 1994: Potassium content of grapevine during the vegetative period: the role of the rootstock. *J. Plant Nutr.* 17: 2165-2175
- Cahoon, G.A. 1985: Potassium Nutrition of Grapes. In: Potassium in Agriculture. Hrsg. R.E. Mundson, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. 1105-1134
- Cakmak, I. 2005: The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 521-530
- Campbell, G.S., Mulla, D.J. 1990: Measurement of Soil Water Content and Potential. In: Irrigation of Agricultural Crops. Hrsg. B.A. Stewart and D.R. Nieslen, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 127-142
- Christensen, L.P. 2005: Foliar fertilization in vine mineral nutrient management programs. In: Proceedings of the soil environment and vine mineral nutrition symposium, San-Diego California, Hrsg. Christensen L.P. und Smart D.R. 83 – 90.
- Christensen, L.P., Boggero, J., Bianchi, M. 1990: Comparative Leaf Tissue Analysis of Potassium Deficiency and a Disorder Resembling Potassium Deficiency in Thompson Seedless Grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 41: 77-83

- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., Flexas, J. 2005: Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.) An open gate to improve water-use efficiency? *Agr. Ecosyst Environ.* 106: 159-170
- Dry, P.R., Loveys, B.R. 1998: Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Aust. J. Grape Wine R.* 4: 140-148
- Dry, P.R., Loveys, B.R. 1999: Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. *Vitis* 38: 151-156
- Dry, P.R., Loveys, B.R. McCarthy, M.G., Stoll, M. 2001: Strategic irrigation management in Australian vineyards. *J. Int. Sci. Vigne Vin* 35: 129-139
- Duhme, F., Richter, H. 1977: Druckkammermethode. In: *Methoden der Pflanzenökologie* Hrsg. Kreeb, K., Gustav Fischer Verlag, Jena. 136-142
- Dundon, C.G., Smart, R.E. 1984: Effects of Water Relations on the Potassium Status of Shiraz Vines. *Am. J. Enol. Vitic.* 35: 40-45
- Düring, H. 1976: Untersuchungen zur Umweltabhängigkeit der stomatären Transpiration bei Reben. I. Beleuchtungsstärke und Luftfeuchtigkeit. *Vitis* 15: 82-87
- Düring, H. 1987: Stomatal responses to alterations of soil and air humidity in grapevines. *Vitis* 26: 9-18
- Düring, H. 1988: CO<sub>2</sub> assimilation and photorespiration of grapevine leaves: Responses to light and drought. *Vitis* 27: 199-208
- Düring, H., Dry, P.R. 1995: Osmoregulation in water stressed roots: Responses of leaf conductance and photosynthesis. *Vitis* 34: 15-17
- Eibach, F., Alleweldt, G. 1984: Einfluss der Wasserversorgung auf Wachstum, Gaswechsel und Substanzproduktion traubentragender Triebe. II Der Gaswechsel. *Vitis* 23: 11-20
- Eifert A. und Eifert J. 1976: Zusammenhänge zwischen der Kaliversorgung der Ertragshöhe und der und der Frosthärte von Rebeständen. *Kali-Briefe, Fachgebiet 29, 8. Folge:* 1-5
- Escalona, J.M., Flexas, J., Bota, J. Medrano, H. 2003: Distribution of leaf photosynthesis and transpiration within grapevine canopies under different drought conditions. *Vitis* 42: 57-64
- Fardossi, A. 2000: Starkes Auftreten von Kaliummangel in verschiedenen Weinbauregionen Österreichs. *Der Winzer* 56(10): 6-12
- Fardossi, A. 2001: Aspekte der Rebernahrung. *Der Winzer* 57(6): 6-14
- Feichter, M. 2006: Neue Ansätze zur Steuerung der Bewässerung im Weinbau. *Obstbau Weinbau* 43: 144-146
- Finger, S.A., Wolf, T.K., Baudoin, A.B. 2002: Effects of horticultural oils on the photosynthesis fruit maturity, and crop yield of winegrapes. *Am. J. Enol. Vitic.* 53: 116-124
- Flexas, J. Bota, J., Cifre, J., Escalona J.M., Galmes, J. Gulias, J., Lefi, E.-K., Martinez-Canellas, S.F., Moreno, M.T., Ribas-Carbo, M., Riera, D., Sampol, B. Medrano, H. 2004:

- Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Ann. Appl. Biol.* 144: 273-283
- Freeman, B.M., Kliwer, W.M. 1983: Effect of Irrigation, Crop Level and Potassium Fertilization of Carigane Vines. II. Grape and Wine Quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 34: 197-207
- Fregoni, M. 1986: Some aspects of epigeal nutrition of grapevine. In: Foliar fertilization. Hrsg. A. Alexander, Martinus Nijhoff Verlag, Dordrecht Niederlande: 205-213
- Gärtel, W. 1964: Starkes Auftreten von Kalimangel als Folge der anhaltenden Duerre. *Dt. Weinbau* 19: 651-656
- Gärtel, W. 1988: Nutritional Disorders - Potassium. In: *Compendium of Grape Diseases*. Hrsg. R.C. Pearson and A. C. Coheen. APS Press: 64-66
- Goetz, G. 2007: Kalimangel erkennen und beheben. *Der Deutsche Weinbau* (4): 30-32
- Gruber, B.R., Schultz, H.R. 2005: Coupling of plant to soil water status at different vineyard sites. *Acta Hort.* 689: 381-385
- Hepner, Y., Bravdo, B. 1985: Effect of Crop Level and Drip Irrigation Scheduling on the Potassium Status of Cabernet Sauvignon and Carigane Vines and Its Influence on Must and Wine Composition and Quality. *Am. J. Enol. Vitic.* 36: 140-147
- Hsiao, T.C. 1990: Measurement of Plant Water Status. In: *Irrigation of Agricultural Crops*. Hrsg. B.A. Stewart and D.R. Nieslen, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin: 243-279
- Huber, S.C. 1985: Role of Potassium in Photosynthesis and Respiration. In: *Potassium in Agriculture*. Hrsg. R.E. Mundson, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin: 369-396
- Iacono, F., Sommer, K.J. 1996: Photoinhibition of photosynthesis and photorespiration in *Vitis vinifera* under field condition: effects of light climate and leaf position *Aust. J. Grape Wine R.* 2: 10-20
- Intrieri, C., Poni, S., Rebutti, B., Magnanini, E. 1997: Effects of canopy manipulations on whole-vine photosynthesis: Results from pot and field experiments. *Vitis* 36: 167-173
- Intrieri, C., Poni, S., Lia, G. Gomez-del-Campo, M. 2001: Vine performance and leaf physiology of conventionally and minimally pruned Sangiovese grapevines. *Vitis* 40: 123-130
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. and Pérez, D. 2005: Water Relations of Field Grown Drip Irrigated 'Tempranillo' grapevines. *Acta Hort.* 689: 317-324
- Keller, M. 2005: Deficit Irrigation and Vine Mineral Nutrition. *Am. J. Enol. Vitic.* 56: 267-283
- Koblet, W. 1969: Wanderung von Assimilaten in Rebtrieben und Einfluss der Blattfläche auf Ertrag und Qualität der Trauben. *Wein-Wissenschaft* 24: 277-319
- Kriedemann, P.E., Kliwer, W.M., Harris, J.M. 1970: Leaf age and photosynthesis in *Vitis vinifera* L. *Vitis* 9: 97-104

- Kriedemann, P.E., Goodwin, I. 2004: Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying. Irrigation Insight Nr. 3. Land and Water Australia, Canberra.
- Lang, N. S., Wample, R.L., Smithyman, R., Mills, L. 1998: Photosynthesis and Chlorophyll Fluorescence in Blackleaf-affected Concord leaves. *Am. J. Enol. Vitic.* 49: 367-374
- Larcher, W. 1994: *Ökophysiologie der Pflanzen*. 5. Auflage, Ulmer Verlag, Stuttgart
- Lebon, E., Dumas, V., Pieri, P., Schultz, H.R. 2003: Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Funct. Plant Biol.* 30: 699-710
- Levy, J.F. 1965: Identification et étude par l'analyse foliaire de quelques carences alimentaire de la vigne. *Vignes Vins* 138: 18-24
- Lopes, C.M.A. 1999: Relationship between leaf water potential and photosynthetic activity of field-grown grapevines under a mediterranean environment. *Acta Hort.* 493: 287-292
- Marschner, H. 2002: *Mineral Nutrition of higher Plants*. 2nd Edition, Academic Press, London
- McCarthy, M. 1997: The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.) *Aust. J. Grape Wine R.* 3: 102-108
- McCarthy, M. 2000: Developmental variation in sensitivity of *Vitis vinifera* L. (Shiraz) berries to soil water deficit. *Aust. J. Grape Wine R.* 6: 136-140
- Medrano, H., Escalona, J.M., Cifre, J., Bota, J., Flexas, J. 2003: A ten-year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Funct. Plant Biol.* 30: 607-619
- Mengel, K. 1991: *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*. Siebente überarbeitete Auflage. Gustav Fischer Verlag, Jena
- Müller, E. 2006: Bewässerung – Antwort auf den Klimawandel? *Das Deutsche Weinmagazin* 2006 (5): 10-18
- Murthy, C.S.H.N. 1983: Effects of pesticides on photosynthesis. *Residue Reviews* 86: 107-129
- Nelhiebel, P. 1982: *Österreichische Bodenkartierung. Erläuterung zur Bodenkarte 1:25000: Kartierungsbereich Neusiedl am See – Mitte, Band 90.* Hrsg. BM f. L u. FW, Wien
- Nelhiebel, P. 1986: *Österreichische Bodenkartierung. Erläuterung zur Bodenkarte 1:25000: Kartierungsbereich Neusiedl am See – Süd, Band 139.* Hrsg. Bundesanstalt für Bodenkultur, Wien
- Ortoizze, T., Düring, H. 2001: Light utilisation and thermal dissipation in light- and shade-adapted leaves of *Vitis* genotypes. *Vitis* 40: 131-136
- Palliotti, A., Cartechini, A., Ferranti, F. 2000: Morpho-anatomical and physiological characteristics of primary and lateral shoot leaves of cabernet Franc and Trebbiano Toscano Grapevines Under Two irradiance regimes. *Am. J. Enol. Vitic.* 51: 122- 130
- Patakas, A., Noitsadis, B., Chouzouri, A. 2005: Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 106: 253-259

- Patakas, A., Noitsakis, B., Stavrakas, D. 1997: Adaption of leaves of *Vitis vinifera* L. to seasonal drought as affected by leaf age. *Vitis* 36: 11-14
- Poni, S., Intrieri, C., Silvestroni, O. 1994: Interactions of leaf age, fruiting, and exogenous cytokinins in Sangiovese grapevines under non-irrigated conditions. I. Gas Exchange. *Am. J. Enol. Vitic.* 45: 71-77
- Poni, S., Magnanini, E., Rebucci, B. 1997: An automated chamber system for measurements of whole –vine gas exchange. *HortScience* 32: 64-67
- Poni, S., Quartieri, M., Tagliavini, M. 2003: Potassium nutrition of Cabernet Sauvignon grapevines (*Vitis vinifera* L.) as affected by shoot trimming. *Plant Soil* 253: 341-351
- Poni, S., Bernizzoni, F., Reinotti, M. 2005: Whole-Canopy and Single-Leaf Gas-Exchange Responses to Partial Rootzone Drying in Potted ‘Cabernet Sauvignon’ Grapevines. *Acta Hort.* 689: 277-284
- Raiffer, B., Roschatt, C. 2001: Welkekrankheit bei Weintrauben. *Obstbau Weinbau* 38: 143-145
- Redl, H. 2003: Sachgerechte Bodenvorbereitung zur Rebenwiederbepflanzung. *Der Winzer* 59(4): 6-10
- Redl, H. 2004: Zielorientierte Kultivierung von Rotweinsorten. *Der Winzer* 60(6): 12-16
- Redl, H. 2005. Der Traubenwelke auf der Spur *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* 56: 83-90.
- Redl, H. 2007a: Bewässerung im österreichischen Weinbau. Erhöhung und Sicherung der Nachhaltigkeit Teil 1. *Der Winzer* 61(6): 25-27
- Redl, H. 2007b: Wasserqualität und Management bei Bewässerung. Nachhaltige Auswirkungen auf die weinbauliche Nutzung Teil 2. *Der Winzer* 61(7): 6-9
- Redl, H. Knoll, M., Achleitner, D. 2007: Der Traubenwelke auf der Spur. Endbericht zum Forschungsprojekt der burgenländischen Landesregierung
- Reisenzein, H., Berger, N. 2001: Untersuchungen zur Zweigeltkrankheit im österreichischen Weinbau. *Pflanzenschutzberichte* 59: 67-78
- Reisenzein, H., Berger, N. 1997: Die „Zweigeltkrankheit“ – eine neue Rebkrankheit? *Der Winzer* (5): 7-9
- Richter, H. 1976: The water status in the plant: experimental evidence. In: Lange, O.L., Kappen, L., Schulze. E.D. (Hrsg.): *Water and plant life*. Springer Verlag, Berlin. 42-58
- Richter, H. 1997: Water relations of plants in the field: some comments on the measurements of selected parameters. *J. Exp. Bot.* 48: 1-7
- Rubio, J.A., Yuste, J., Lissarague, J.R., Baeza, D. 2004: Relations between Soil Water Content, Leaf Water Potential Physiological and Productive Activity under the Influence of Irrigation and Yield Control in Tempranillo Grapevine in the A.O. Ribera del Duero. *Acta Hort.* 646: 69-76
- Ruckenbauer, W. 1984: Boden und Düngung im Weinbau. *Beratungsschrift Nr. 6 der Österreichischen Düngerberatungsstelle, Wien*

- Rupp, D. 2007: Effizient und genau messen. Das Deutsche Weinmagazin (6): 12-13
- Santos, dos T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., Souza, de C.R., Maroco, J.P., Pereira, J.S., Silva, J.R., Chaves, M.M. 2003: Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). *Funct. Plant Biol.* 30: 663-671
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C. Linger, M.A., Appenzeller, C. 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332-336
- Scholander, P.F., Hammel, H.J., Bradstreet, A., Hemmingsen, E.A. 1965: Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-346
- Schultz, H.R. 1993: Photosynthesis of sun and shade leaves of field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L.) in relation to leaf age. Suitability of the plastochron concept for the expression of physiological age. *Vitis* 32: 197-205
- Schultz, H.R. 1995: Grape canopy structure, light microclimate and photosynthesis. I. A two-dimensional model of the spatial distribution of surface area densities and leaf ages in two canopy systems *Vitis* 34: 211-215
- Schultz H.R. 2003: Qualitätsorientierte Bewässerung. *Der Deutsche Weinbau* (14): 32-35
- Schultz, H.R., Kiefer, W., Gruppe, W. 1996: Photosynthetic duration, carboxylation efficiency and stomatal limitation of sun and shade leaves of different ages in field-grown grapevine (*Vitis vinifera* L.) *Vitis* 35: 169-176
- Schultz, H.R., Steinberg, B. 2002a: Tropfen für Tropfen zur Qualität. *Das Deutsche Weinmagazin* (21): 30-35
- Schultz, H.R., Steinberg, B. 2002b: Tropfen für Tropfen zur Qualität. *Das Deutsche Weinmagazin* (22): 16-21
- Singsaas, E.L., Ort, D.O., DeLucia, E.H. 2001: Variation in measured values of photosynthetic quantum yield in ecophysiological studies. *Oecologia* 128: 15-23
- Sipiora, M.J., Lissarague, J.R. 1999: Diurnal changes in vine water status and gas exchange parameters of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo grapevines as influenced by irrigation and pruning level. *Acta Hort.* 493: 109-116.
- Smart, D.R., Carlisle, D., Goebel, M., Nunez, B.A. 2005: Transverse hydraulic redistribution by a grapevine. *Plant Cell Environ* 28: 157-166
- Smithyman, R.P., Wample, R. L., Lang, N.S. 2001: Water deficit and crop level influences on photosynthetic strain and blackleaf symptom development in concord grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* 52: 364-375
- Souza, C., R., de, Marocco, J.P., Santos, T.P. dos, Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Pereira, J.S., Chaves, M.M. 2005: Impact of deficit irrigation on water use efficiency and carbon isotope composition ( $\delta^{13}C$ ) of field grown grapevines under Mediterranean climate. *J. Exp. Bot.* 56: 2163-2172

- Souza, de R.C., Maroco, J.P., Satnos, dos T.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C.M., Pereira, J.X., Chaves, M.M. 2003: Partial rootzone drying: regulation of stomatal aperture and carbon assimilation in field-grown grapevines (*Vitis vinifera* cv. Moscatel). *Funct. Plant Biol.* 30: 653-662
- Statistik Austria 1999: Der Weinbau in Österreich 1999. Hrsg. Statistik Österreich, Wien.
- Stevens, R.M., Harvey, G., Aspinall, D. 1995: Grapevine growth of shoots and fruit linearly correlate with water stress indices based on root-weighted soil matric potential. *Aust. J. Grape Wine R.* 1: 58-66
- Stoll, M., Loveys, B., Dry, P. 2000: Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *J. Exp. Bot.* 51: 1627-1634
- Vanek, G. 1978: Diagnostische Möglichkeiten von Rebernährungsstörungen. Symptomatik und chemische Blattanalyse – die Blattdiagnostik. *Weinwissenschaft.* 33:15-35
- Veberic, R., Vodnik, D., Stampar, F. 2007: Does foliar nutrition with phosphorus and potassium lead to stress in apples? *Acta Hort.* 732: 629-634
- Wilhelm, A.F. 1950: Zur Kenntnis von Kalimangelerscheinungen bei der Weinrebe *Vitis vinifera* L. *Phytopathol. Z.* 17: 240-264
- Williams L.E. and Matthews, M.A. 1990: Grapevine, In: *Irrigation of Agricultural Crops*, Hrsg. B.A. Stuart and D.R. Nielson, Agronomy Series 30, Madison Wisconsin: 1019-1055
- Williams, L.E., Biscay, P.J. 1991: Partitioning of Dry Weight, Nitrogen, and Potassium in Cabernet Sauvignon Grapevines From Anthesis Until Harvest. *Am. J. Enol. Vitic.* 42: 113-117
- Williams, L.E., Trout, T.J. 2005: Relationship among Vine-and soil-based measures of water status in a Thompson seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* 56: 357-366
- Wolpert, J.A., Smart, D.R., Anderson, M. 2005: Lower Petiole Potassium concentration at bloom in rootstocks with *Vitis berlandieri* genetic backgrounds. *Am. J. Enol. Vitic.* 56: 163-169
- ZAMG 2002: Klimadaten von Österreich: 1971-2000. Klimadaten von über 200 Stationen in ganz Österreich, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Zufferey, V. Murisier, F. Schultz, H.R. 2000: A model analysis of the photosynthetic response of *Vitis vinifera* L. cvs. Riesling and Chasselas leaves in the field: I. Interaction of age, light and temperature. *Vitis* 39: 19-26