

Universität für Bodenkultur Wien
Abteilung Obst- und Weinbau



Einfluss von Trockenstress auf die Photosyntheseleistung und Sink-Aktivität von latent mit Rebläusen infizierten Reben

Masterarbeit

Verfasst und eingereicht von

Stefan Siegl

1. Betreuerin: Univ.Prof. Dipl.-Ing.sc.agr. Dr.sc.agr. Astrid FORNECK
2. Betreuerin: Dipl.-Ing. Dr. Michaela GRIESSER

Wien, März 2017

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt habe. Es wurden keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Formulierungen und Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Diese schriftliche Arbeit wurde noch an keiner Stelle vorgelegt.

Wien, März 2017

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich unterstützt haben, diese Arbeit erfolgreich abzuschließen.

Mein großer Dank gilt Frau Univ.Prof. Dipl.-Ing.sc.agr. Dr.sc.agr. Astrid FORNECK und Frau Dipl.-Ing. Dr. Michaela GRIESSER für die Überlassung des Themas und ihre freundliche und kompetente Unterstützung während der gesamten Arbeit.

Weiters möchte ich mich beim gesamten Team der Abteilung Obst- und Weinbau der Universität für Bodenkultur Wien bedanken, die mich unterstützt haben und mir bei Fragen stets zur Seite gestanden sind.

Danken möchte ich auch meiner Schwester und ihrem Freund, die mir beide zu jeder Zeit reichlich Unterstützung gegeben und mit mir fruchtbare Diskussionen über dieses Thema geführt haben. Meiner gesamten Familie und Verwandtschaft möchte ich ebenfalls für jeglichen Beistand danken.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mir diese unvergessliche Studienzeit an der Universität für Bodenkultur Wien ermöglicht haben und mich immer unterstützen.

Fischamend, März 2017

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1 Problem	7
1.2 Fragestellung.....	7
1.3 Ziele	7
1.4 Hypothesen	7
2. Literaturüberblick	8
2.1 Lebenszyklus der Reblaus	9
2.2 Trockenstress der Weinrebe	10
2.3 Sink – Source Translokation	13
3. Material und Methoden	19
3.1 Versuchsglashaus	19
3.2 Stecklinge.....	20
3.3 Stecklingsanzucht	20
3.4 Eintopfen der Reben	21
3.5 Etablierung im Glashaus	21
3.6 Versuchsdesign.....	22
3.7 Inokulation.....	22
3.8 Untersuchungsmethoden	24
3.9 Ablauf der Stressbehandlungen	25
3.10 Probennahme.....	26
3.11 Kalibrierung	27
3.12 Statistische Auswertung	28
4. Ergebnisse	29
4.1 Photosyntheseleistung	29
4.2 Gasaustausch	33
4.3 Sinkaktivität	40
5. Diskussion.....	45
6. Zusammenfassung.....	52
7. Abstract.....	53
8. Abbildungsverzeichnis	54
9. Tabellenverzeichnis	55
10. Literaturverzeichnis.....	56
11. Anhang	60

*Der Hauptgrund für Stress ist
der tägliche Kontakt mit Idioten.*

** Albert Einstein (1879 – 1955)*

1. Einleitung

Seit die europäischen *Vitis* Arten (*Vitis vinifera* L.) auf Unterlagsreben, die aus amerikanischen *Vitis* Arten gezüchtet werden, wird die Reblaus (*Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) (Homoptera: Phylloxeridae)), ein weltweit auftretender Schädling im Weinbau, der sowohl an den Wurzeln als auch an den Blättern der Weinrebe (*Vitis* spp.) auftritt, als problemlos angesehen. Ursprünglich kommt der Schädling aus dem Gebiet der Rocky Mountains (USA), wo er an amerikanischen *Vitis* Arten (*Vitis* spp.) (z.B. *V. riparia*, *V. rupestris*, ...) als Wirt lebt (Powell et al., 2013). Eine zukünftige Herausforderung stellt den korrekten Einsatz von toleranten und widerstandsfähigen Unterlagen dar. Als zusätzliches Problem zeigen sich die sich verändernden Klimaeffekte, wie etwa Wassermangel sowie höheren CO₂ - Konzentrationen in der Atmosphäre.

Bisherige Untersuchungen haben sich auf die Erkennung, die Entwicklung des Schädlings sowie auf Folgeschäden der Pflanze und auf die genetische Variabilität der Reblaus konzentriert (Powell et al., 2013, Serra et al., 2014). Des Weiteren wurden Versuche zu Trockenstress überwiegend an europäischen *Vitis* Arten durchgeführt, um die Reaktionen dieser zu testen und zu ermitteln (Tramontini et al., 2013, Lovisolo et al., 2010). Jedoch wurde kaum die direkte Interaktion von Trockenstress und Reblausbefall untersucht, was jedoch heutzutage ein immer wichtigeres Thema im Weinbau wird. Deshalb bedarf es weiteren Untersuchungen und Forschungen nach neuen Aspekten und Ansätzen.

Steffan und Rilling (1981) zeigten in Ihren Untersuchungen, dass die Reblaus, wenn sie an den Wurzeln Gallen bildet, einen hohen Einfluss auf die Source-Sink Translokation der Weinrebe hat. Sobald eine Rebe von der Reblaus befallen wird, verändert sie den Metabolismus der befallenen Blätter und Wurzeln signifikant, sodass mehrere Stoffwechselwege verändert werden (Griesser et al., 2015). So ist eine Veränderung in der Photosyntheserate bzw. des Gasaustausches verursacht durch die Reblaus möglich und bildet für diese Arbeit die wichtigsten Hypothesen. Dieses Forschungsfeld eröffnet Möglichkeiten und Ansätze neue Daten und Ergebnisse zu finden, die die unten dargestellten Hypothesen versuchen zu beantworten.

Die Sink-Source Translokationen der Weinrebe sind weitestgehend erforscht (Keller, 2010). Den Einfluss von Trockenstress auf die Photosyntheseaktivität wurde u.a. von Merli et al. (2015), Flexas et al. (1998) oder Zulini et al. (2007) mit ähnlichen Methoden, die auch in dieser Arbeit verwendet wurden, untersucht. In den genannten Forschungen wurden jene Messparameter herangezogen, die auch in der vorliegenden Arbeit miteinbezogen werden, nämlich die Chlorophyllfluoreszenz, die effektive photohemische Quantenausbeute des Photosystems II, die stomatäre Leitfähigkeit, die Transpirations- und Photosyntheserate sowie die Elektronentransportrate.

Die Möglichkeit die Untersuchungen im Glashaus durchführen zu können, erfordert andere Ansichten auf die Resultate, als wenn man Ergebnisse betrachtet, die auf freien Feldversuchen durchgeführt wurden. Diese Art der Datenerhebung bringt den großen Vorteil unabhängig der Witterung eine Trockenstressphase durchführen zu können.

1.1 Problem

Die Reblaus als weltweiter Schädling im Weinbau mindert die Vitalität der Weinrebe und einhergehend die Qualität der Trauben. Bis heute gibt es wenige Erkenntnisse, die die Interaktion zwischen Reblaus und Rebe, die unter Trockenstress und unter isolierten Bedingungen und einer kontrollierten Umgebung steht, beleuchten. Des Weiteren fehlen Ergebnisse, die auf Reaktionen von Unterlagsreben auf Trockenstress bzw. die Reblaus schließen lassen.

1.2 Fragestellung

Die Arbeit widmet sich folgenden Fragen:

Welche Effekte von Trockenstress gibt es auf den Gasaustausch bei nicht phylloxerierten bzw. phylloxerierten Reben?

Welche Einflüsse von Trockenstress gibt es auf die Photosyntheseleistung bei nicht phylloxerierten bzw. phylloxerierten Reben?

Welche Effekte von Trockenstress gibt es auf die Sinkaktivität bei nicht phylloxerierten bzw. phylloxerierten Reben?

1.3 Ziele

Die Ziele der vorliegenden Arbeit sind es herauszufinden, ob die verwendeten Unterlagsreben auf Trockenstress reagieren und wie sich diese auf ihre Photosyntheseleistung auswirkt.

Durch das zusätzliche neue Sink – Organ der Weinrebe, der Wurzelgalle, ist es möglich, dass dieses den Assimilattransport maßgeblich beeinflusst und dadurch in die Source – Sink Verteilung eingreift.

1.4 Hypothesen

Es gibt keine Auswirkungen des Trockenstress auf reblausbefallene bzw. nicht befallene Reben.

Es gibt keine Auswirkungen bei Trockenstress auf die Photosyntheseleistung nicht phylloxerierter bzw. phylloxerierter Reben.

Es gibt keine Unterschiede bei Trockenstress der Sinkaktivität zwischen nicht phylloxerierter bzw. phylloxerierter Reben.

2. Literaturüberblick

Die Reblaus (*Daktulosphaira vitifoliae* (Fitch) (Homoptera: Phylloxeridae)) ist ein weltweit auftretender Schädling im Weinbau, der sowohl an den Wurzeln als auch an den Blättern der Weinrebe (*Vitis* spp., Vitaceae) auftritt. Der Schädling ist ursprünglich in den Rocky Mountains (USA) beheimatet, wo er mit der Amerikanerrebe (*Vitis* ssp.) als Wirt lebt (Powell et al., 2013). Eingeschleppt wurde sie unwissend nach Europa mit Pflanzmaterial aus Amerika von den Kolonialmächten im späten 19. Jahrhundert, um Studien gegen den Mehltau (*Erysiphe necator*) zu betreiben. Die Familie der Phylloxeridae besteht aus 75 Spezies, die auf unterschiedlichen Wirtspflanzen, wie etwa mehrjährigen Obstbäumen und verschiedenen Laubbäumen leben können (Gupta, 2001). Die Reblaus, die an der Weinrebe lebt, richtet den größten wirtschaftlichen Schaden weltweit im Weinbau an (Powell et al., 2013).

Der Parasit kann sowohl an den Wurzeln, als auch an den Blättern der Weinrebe die Bildung von Gallen induzieren. Als sich die Reblaus in den 1860er Jahren von Frankreich aus über ganz Europa ausbreitete, schädigte sie die dort heimische Europäerrebe (*Vitis vinifera* L.), die noch nicht veredelt war, was schwere wirtschaftliche Folgen mit sich brachte. Letztendlich konnte sich der Schädling über die ganze Welt ausbreiten (Granett et al., 2001).

Die Weinrebe ist generell eine gut an aride und semi-aride Klimazonen angepasste Kulturpflanze, da sie vorwiegend im Mittelmeerraum kultiviert wird, wo es im Sommer trocken und dadurch Wasser bzw. Niederschlag rar ist (Flexas et al., 1998). Jedoch ist der Klimawandel kaum aufzuhalten und die Weinrebe muss sich daran adaptieren.

Dazu ist es erforderlich die Reaktionen der Weinrebe auf Veränderungen im Klima zu testen und festzuhalten, um geeignete Unterlagen bzw. Edelrebsorten zu finden. Dabei gilt zu beachten, dass seit dem Ende des 19. Jahrhunderts Unterlagen aus *Vitis rupestris*, *Vitis riparia* und *Vitis berlandieri* gezüchtet wurden, da diese reblausresistent sind (Granett et al., 2001).

Dazu wurde in der vorliegenden Arbeit ein Versuch im Glashaus etabliert, in dem die Versuchspflanzen unter abiotischen Stress, nämlich Wassermangel, und biotischen Stress, nämlich Rebläusen, versetzt wurden.

Die Europäerrebe ist anfällig für die wurzelgallenbildende Reblaus, die an den noch nicht verholzten Wurzeln bzw. Wurzelspitzen sogenannte Nodositäten und an den älteren, bereits verholzten Wurzelregionen sogenannte Tuberositäten bildet. Diese Veränderung im Wurzelsystem hat zur Folge, dass die Nährstoff- und Wasseraufnahme beeinträchtigt wird und somit auch der Ertrag und die Struktur der Laubwand. Die schwerwiegendste Folge des Reblausbefalls ist das Absterben der Weinrebe nach ca. 4 – 7 Jahren nach Auftreten der Reblaus (Powell et al., 2013).

Die befallene Weinrebe zeigt nach etwa drei Jahren oder länger oberirdisch vergilbte Blätter und reduzierte Blattmasse. Diese Symptome sind jedoch nicht nur auf die Reblaus beschränkt, sondern können auch auf Trockenstress, Wasserstressprobleme oder Nährstoffmangel hinweisen. (Blanchfield et al., 2006). Die wirtschaftliche Schadschwelle bei Reblausbefall ist unbekannt (Granett et al., 2001).

Der Boden, in dem die Weinreben wachsen, spielt ebenso eine wichtige Rolle in Bezug auf den Reblausbefall. Der Schädling fühlt sich besonders in schweren Lehmböden wohl, jedoch kann er sich in sandigen Böden nicht vermehren, da die Textur dieser Böden der Reblaus nicht ermöglichen, von einer befallenen Wurzel auf eine neue Wurzel zu wandern (Granett et al., 2001).

Um jedoch die Reblaus erfolgreich bekämpfen zu können, mussten die Forscher damals wie heute ihren Lebenszyklus erforschen.

2.1 Lebenszyklus der Reblaus

Der Lebenszyklus der Reblaus (Abbildung 1) ist sehr komplex gestaltet. Ein Ei überwintert und daraus schlüpft im Folgejahr die Stammutter, die sogenannte Fundatrix. Diese sticht an einem Weinblatt ein und beginnt zu saugen. Diese Prozedur löst in der Pflanze eine Hormonausschüttung aus, die bewirkt, dass diese um die Fundatrix eine schützende Hülle bildet, die, in diesem Fall genannte, Blattgalle. In dieser Galle entwickelt sich die Reblaus und legt Eier, danach stirbt sie. Die ersten Nachkommen bewegen sich am Blatt oder zu den Wurzeln im Frühling und Sommer, wo sie die Bildung neuer Gallen induzieren (Blanchfield et al., 2006).

Vor Auftreten der flügellosen Adulte gibt es vier Nymphenstadien, welche von den Wurzeln aus den Boden verlassen. Die beflügelten Rebläuse (Alate) breiten sich aus, saugen aber nicht. Diese legen männliche und weibliche Eier. Diese neu geschlüpften beflügelten Rebläuse häuten sich vier Mal, bis sie flügellos sind, paaren sich danach und die Weibchen legen ein einziges Ei, das wiederum überwintert, womit sich der Kreis schließt (Granett et al., 2001).

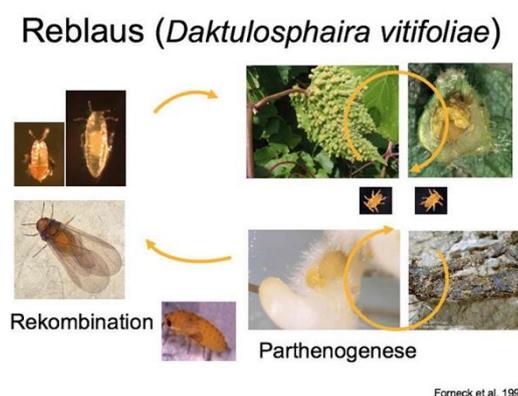


Abbildung 1 Lebenszyklus der Reblaus (Forneck et al. 1999)

Die Reblaus induziert die Bildung von Gallen sowohl an den Wurzeln, als auch an den Blättern. An den Wurzeln macht sie dies, indem sie mit ihrem Saugwerkzeug Speichel ins Gewebe abgibt und sich dann an der Pflanze ernährt. Dies macht die Reblaus am Wurzelmeristem junger, noch nicht verholzter Wurzeln. Diese Speichelabsonderung bewirkt, dass sich die Zellen schneller teilen bzw. größer wachsen und sich die Zellstrukturen und die chemische Zusammensetzung ändert. Daraus entstehen Nodositäten bzw. Tuberositäten (Powell et al., 2013). An den Wurzelspitzen entstehen Nodositäten und sobald die Reblaus in Wurzelregionen wandert und dort saugt, die schon älter und verholzt sind, entstehen Tuberositäten. Mindestens drei verschiedene Aminosäuren wurden als galleninduzierend im Speichel der Reblaus entdeckt: Lysin, Tryptophan und Histidin (Anders, 1958). Dies ist jedoch sehr umstritten.

2.2 Trockenstress der Weinrebe

Um zu verstehen, wie sich Trockenstress auf die Weinrebe auswirkt bzw. welche Reaktionen diese zeigt, muss man die Umweltgegebenheiten und die Hormonreaktionen genauer betrachten.

Durch Niederschlag kommt Wasser in den Boden, wird dort gespeichert und ist somit für die Weinrebe verfügbar. Es muss jedoch in den Mittelporen des Bodens enthalten sein, da es hier den geringsten Kraftaufwand der Rebe erfordert, dieses herauszuholen.

Der Niederschlag variiert über das gesamte Jahr, auch über die Jahre gesehen und es hängt auch davon ab, wie schnell es aus dem Boden verdunstet. Die Wasserhaltekapazität des Bodens spielt ebenso eine große Rolle, wie die Bodentiefe, die Textur (Sand-, Lehm-, Tonanteile) und der Humusgehalt. Ideale Böden für den Weinbau sind Lehm-/Lössböden, da sie einen relativ hohen Anteil an pflanzenverfügbarem Wasser haben. Wie zuvor schon angesprochen, sind Sandböden für die Reblaus nicht ideal aufgrund der Textur und auch die Wasserhaltekapazität dieser Böden ist nicht sehr gut. Die Weinrebe muss in diesen Bodentypen viel Kraft in ihr Wurzelwachstum investieren, um den geringeren Gehalt an Wasser in den Mittelporen auszugleichen (Keller, 2010b).

Zu wenig verfügbares Wasser im Boden kann die Reaktion auslösen, dass die Pflanze die Stomata schließt, genauso wenn zu viel Wasser vorhanden ist, und damit wird auch die Photosyntheserate reduziert. Folge dessen werden Prozesse, die hohen Energiebedarf haben, verlangsamt oder gar stillgelegt (Keller, 2010b).

Ist die Rebe unter Trockenstress, wird Abscisinsäure nicht wie üblich in den Wurzeln produziert, da der Weg zu den Stomata zu lange ist, sondern in den Blättern bzw. im Spross. Dieser Weg kann aber nur durch Signale der Wurzeln eingeleitet werden (Christman et al., 2007). Diese Synthese von Abscisinsäure kann durch den geringeren Turgor in den Blättern induziert werden (Keller, 2010b).

Das Pflanzenwachstum basiert auf Zellausdehnung, die durch Wasseraufnahme bewirkt wird. Es muss daher mehr Wasser aufgenommen werden, als durch Transpiration verloren geht (Keller, 2010b). Durch Wasserdefizit wird das Wachstum des Sprosses und der Blätter reduziert bzw. eingestellt, wobei die Photosynthese kaum beeinflusst wird (Williams et al., 1994).

Das Wurzelwachstum von trockengestressten Reben ist reduziert und der Durchmesser von gestressten Wurzeln geringer (Mapfumo et al., 1994). Durch dieses Phänomen wird das Wurzel : Spross Verhältnis erhöht und die Wasser- und Nährstoffversorgung des Sprosses wird aufrechterhalten (Hsiao and Xu, 2000).

Sobald die Bodenfeuchtigkeit abnimmt, nimmt auch die Wurzelrespiration ab. Ab einem gewissen Wassergehalt im Boden sinkt die Zellstabilität der Wurzelzellen und diese sterben ab (Huang et al., 2005).

Wurzeln, die im trockenen Bereich des Bodens wachsen, werden von jenen, die in feuchteren Bodenregionen sind, mit Wasser versorgt. Jedoch werden von den trockenen Wurzeln weniger Cytokinine erzeugt, was wiederum vermindertes Sprosswachstum bewirkt (Stoll et al., 2000). Wurzeln in trockenen Bodenbereichen senden Signale aus, die bewirken, dass das Wurzelwachstum in die Tiefe gehen soll um damit zu Wasser zu gelangen (Dry et al., 2000).

Generell leiden getopfte Reben eher unter Wasserstress als unter Trockenstress (Passioura, 2006). Das Bodenwasserpotential (ψ_{soil}) spielt eine zusätzliche große Rolle. Wenn das Potential gering oder hoch ist, wird die Rebe unter Stress gesetzt und die Transpirationsrate (E) nimmt als Konsequenz ab.

Sobald die Wasserverfügbarkeit abnimmt und die Pflanzenzellen dehydrieren, stimuliert diese Dehydration die Bildung von Abscisinsäure. Diese hat die Hauptaufgabe den Wasserhaushalt und den osmotischen Druck in der Pflanze zu regulieren. Den Wasserhaushalt reguliert die Abscisinsäure durch Regulierung der stomatären Leitfähigkeit (gs). Auxine, auf der anderen Seite, sind u.a. für das Lösen der Zellwand verantwortlich, das für das Zellwachstum nötig ist. Es ist möglich, dass sich die beiden Pflanzenhormone einander beeinflussen, indem die Abscisinsäure das Lösen der Zellwand verhindert. Deshalb kommt es zu einem eingeschränkten Sprosswachstum bei trockengestressten Reben. Das Gegenteil wird aber in den Wurzeln induziert. Andererseits wiederum erfolgt die Wasseraufnahme mit Substanzanreicherung und Osmose in den Zellen. Daher bewirkt Trockenstress, dass das Wasserpotential des Xylems (ψ_{xylem}) verringert wird, folglich wird die Wasseraufnahme der Zellen eingeschränkt und schließlich kann der nötige Turgor nicht mehr erzeugt werden (Keller, 2010b).

Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen der stomatären Leitfähigkeit und der Transpirationsrate bzw. der Photosynthese eines voll ausgewachsenen Weinblattes unter Trockenstresseinfluss (nicht im Diagramm dargestellt). Bei niedriger stomatärer Leitfähigkeit steigt die Photosynthese nicht so stark an wie die Transpiration. Wenn die Stomata geschlossen sind, verringert sich die Transpirationsrate und die Photosyntheserate wird begrenzt, weil die CO₂ – Diffusion in das Blatt mehr von der Öffnung der Spaltöffnungen abhängt, als die Wasserdampfdiffusion aus dem Blatt heraus (Keller, 2010b).

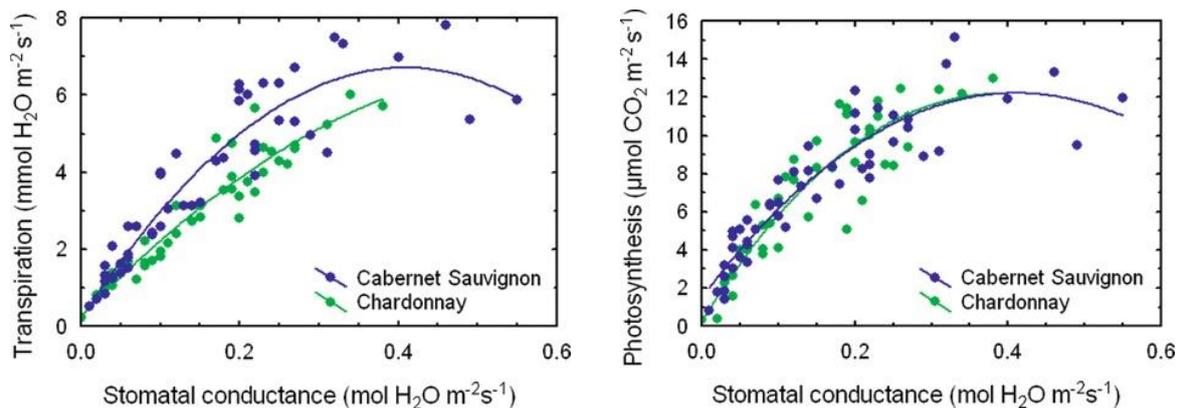


Abbildung 2 Beziehung zwischen stomatärer Leitfähigkeit und Transpiration bzw. Photosynthese (Keller 2010)

Ein weiteres Anzeichen von trockengestressten Reben sind Ranken, die beginnen zu vertrocknen. Sobald die obersten Ranken nicht mehr länger sind als die Triebspitze und beginnen zu vertrocknen bzw. abzufallen, ist dies ein wichtiges Indiz für Trockenstress, da sie früher beginnen zu welken als die Blätter.

Es wurde in früheren Studien herausgefunden, dass verschiedene Unterlagsreben unterschiedliche Wassernutzungskapazitäten und unterschiedliche Wassertransporteigenschaften aufweisen (Soar et al., 2006). In weiteren Untersuchungen wurde herausgefunden, dass die Unterlage einen Einfluss auf den Gasaustausch und den Wasserhaushalt der gesamten Weinrebe ausübt (Iacono et al., 1998).

Dafür wurden auch Versuche zum Aufbau der Rebe durchgeführt, die zeigen, dass die Weinrebe sehr gut an Böden, die wenig Wasser halten können, angepasst ist, da sie im Xylem den Wassertransport beeinflussen kann. Reben haben große Xylemgefäße, die sich nach Trockenstressszenarien wieder erholen können (Lovisolo and Schubert, 1998). Natürlich spielt auch der Bodentyp, die Textur, die Körnung oder der Salzgehalt eine wichtige Rolle in Bezug auf die Wurzelverteilung im Boden (Koundouras et al., 2008). Tiefe Wurzeln bieten bessere Überlebenschancen bzw. eine höhere Toleranz in Trockenstresssituationen (Tsegay et al., 2014). Trockenheitstolerante Unterlagen haben eine bessere Wurzelverteilung im Boden als trockenheitssensible Unterlagsreben (Serra et al., 2014).

Anhand der stomatären Leitfähigkeit kann man erkennen, ob eine Pflanze unter Trockenstress leidet (Tsegay et al., 2014). Deshalb wurde in diesem Versuch u.a. dieser Parameter gemessen und verglichen. Des Weiteren wurde herausgefunden, dass Pflanzen, die unter Trockenstress leiden, die Möglichkeit haben ihre Stomata zu schließen, den Wasserverbrauch zu reduzieren oder die Wasseraufnahme zu steigern um dieser Situation entgegenzuwirken (Tsegay et al., 2014). Um die Stomata zu schließen, erhöht sich der pH-Wert des Xylemstromes um etwa eine Einheit und durch diese Erhöhung wird die Abscisinsäure aktiviert und die Stomata schließen sich dadurch, wie oben beschrieben (Wilkinson, 1999).

2.3 Sink – Source Translokation

Zunächst sind für das Verständnis der Sink – Source Translokationen in der Weinrebe die Definitionen ebendieser unabdingbar. Ein gut strukturiertes Transportsystem für die in der Photosynthese erzeugten Assimilate ist erforderlich, um diese in die verschiedenen Pflanzenorgane zu befördern. Darum gilt es zu klären, was ein Source – bzw. ein Sink – Organ ist.

Ein Source – Organ stellt den Ort der Erzeugung der Photosynthate bzw. der Assimilate dar. Das kann jeder grüne Teil der Weinrebe sein, wie zum Beispiel ein Blatt, das allerdings ausgewachsen sein muss, oder der Spross oder selbst die Gescheine. Ein Source – Organ exportiert also seine Erzeugnisse in andere Pflanzenteile, die Sink – Organe, da es mehr produziert, als es für den Eigenbedarf braucht. Diese können beispielsweise der Stamm, die Wurzeln, Trauben in jeder Entwicklungsphase oder auch wieder der Spross bzw. die Triebspitze sein. Junge, noch nicht ausgewachsene und voll entfaltete Blätter sind ebenso Sink – Organe. Jedes Pflanzenteil beginnt sein Leben als Sink. Etwa 40 Tage dauert es, bis ein Blatt voll entwickelt ist und damit zum Source – Organ wird (Keller, 2010a).

Ein Blatt der Rebe beginnt Assimilate zu exportieren, sobald es ein Drittel seiner zukünftigen Größe erreicht hat, allerdings ist es auch noch ein Sink – Organ, solange es noch nicht zur Hälfte seiner Größe angewachsen ist. Sobald der Spross etwa sechs Blätter hat, beginnt das erste Blatt basipetal zu exportieren. Dabei ist auch wichtig, dass, wenn die Weinrebe Beeren trägt, die Blätter unterhalb der Traube in beide Richtungen Assimilate liefern, d.h. in die Traube und nach unten in den Stamm bzw. die Wurzeln. Nach etwas mehr als 100 Tagen, solange dauert die photosynthetisch-aktive Phase eines Blattes, wird das Blatt zum Source – Organ für Mineralstoffe, die, sobald die Seneszenz eintritt, im Stamm bzw. im sich verholzenden Spross eingelagert werden (Keller, 2010a).

Im Stamm bzw. im Rebholz werden Assimilate während der Wachstumsphase als Stärke, Proteine und Aminosäuren gespeichert. Diese werden in der Austriebphase der Rebe durch das Hormon Gibberellin wieder remobilisiert und so für die neuen Sprosse verfügbar gemacht. Die Translokation selbst erfolgt in wässrigen Lösungen im Holzteil. Die Verteilung der Nährstoffe findet in beiden Strömungsrichtungen, auf- und abwärts, statt. Eine hohe Konzentration von Mineralstoffen findet sich in den Blättern, da dorthin der Hauptanteil des Saftstromes gelangt. Diese werden mit den Assimilaten wieder zurück in Reservelager oder andere Sink – Organe befördert (Kostytschew, 1931). Dieses Verfahren wird als Translokation der Assimilate verstanden. Dieser Mechanismus findet im Phloem statt (Keller, 2010a). Diese Erkenntnis ist wichtig, da die Stelle, an der sich die Reblaus ernährt, nahe des Phloems liegt.

Um die Effekte einer Reblausinfektion an den Wurzeln zu verstehen, ist das Verständnis der Wirkung der Reblaus (oben beschrieben) wichtig. Die von den Rebläusen induzierten Wurzel- und Blattgallen, bilden neue Sink-Organen in der Pflanze. Diese importieren Assimilate. Die Wurzelgallen bilden ebenfalls Sink – Organe, die auch Kohlehydrate importieren (Griesser et al., 2015). Laut den Versuchen von Steffan und Rilling (1981) sind Blattgallen Sink – Organe, die eine große Menge an Assimilaten der Pflanze entziehen, die sie eigentlich in die Blätter oder den Wurzelbereich exportieren sollte. Eine weitere Hypothese stellt eine mögliche Störung in der Mineralstoff- und Wasseraufnahme in den vergallten Wurzeln dar, wie oben bereits erwähnt.

Jedoch resultierte in anderen Experimenten, dass die Wurzeln, die mit Gallen befallen waren, eine erhöhte Saccharosekonzentration aufwiesen, als die nicht vergallten Wurzeln (Ryan et al., 2000). Allerdings wurde ein zweites Experiment parallel durchgeführt, das genau das Gegenteil hervorbrachte, nämlich, dass an den reblausbefallenen Wurzeln die Saccharosekonzentration am geringsten war und nicht an den nicht befallenen Wurzeln (Ryan et al., 2000).

Die Reblaus etabliert ihre Wurzelgalle im meristematischen Gewebe der Wurzelspitze, wo sie inter- und intrazellulär ernährt wird (Hofmann, 1957). Dies bewirkt eine Änderung in der Wasser-, Assimilat- und Mineralstoffaufnahme (Porten und Huber, 2003).

Griesser et al. (2015) bewies in ihrer Untersuchung herausgefunden, dass die Stärkegehalte sehr niedrig in nicht befallenen Wurzelspitzen nicht befallener und befallener Pflanzen sind.

Des Weiteren fand Griesser et al. (2015) heraus, dass allgemein gesunde Wurzelspitzen einen höheren Glukosegehalt als Nodositäten aufwiesen. Der Saccharosegehalt war hingegen geringer als in befallenen Pflanzen. Des Weiteren zeigte die Untersuchung, dass die Phloem Entladung der Saccharose in die Nodositäten symplastisch erfolgt und früh während der Entstehung der Nodositäten beginnt.

Ein zusätzliches wichtiges Resultat dieses Versuches zeigt, dass die Nodositäten als wichtige Stärkelager dienen, die verhindern, dass die Pflanze Folgen von Metabolitenmangel hat, wenn die Reblaus diese befällt. Die Stärkekonzentration steigt mit dem Alter der Reblaus und die Saccharose- und Glukosekonzentration sinkt mit dem Alter der Nodositäten.

Ein interessantes Ergebnis ist, dass Zucker symplastisch in Richtung der Nodositäten transportiert werden und interzellulärer Austausch von Zuckern aufgrund der Stärkeeinlagerung stattfindet.

Sink – Zellen können Saccharose entweder direkt über Saccharosetransporter aufnehmen oder Invertasen stellen diese aus Glukose und Fructose zusammen und diese werden über Monosaccharidtransporter in die Zelle aufgenommen.

In befallenen Wurzelspitzen zeigten sich keine signifikant höhere Expression von Genen für Saccharosetransporter, als in nicht befallenen Spitzen.

Der Versuch von Griesser et al. (2015) zeigt, dass Saccharose hauptsächlich symplastisch zu den Nodositäten gelangt und dort in Form von Stärke gespeichert wird.

Die Nodositäten erfüllen mehrere Aufgaben. Sie stellen der Reblaus Nährstoffe zur Verfügung, sie unterstützen die Reblaus bei der Reproduktion und sie puffern einen kurzfristigen Zuckerüberschuss ab, der beim Reblausbefall auftritt. Reaktionen auf osmotischen Stress und andere nachgeschaltete Prozesse beeinflussen die Nodositätenbildung (Griesser et al., 2015).

Weitere Ergebnisse der Sink – Analysen von Wurzelgallen zeigten, dass die Stärkeakkumulation in den Gallen bereits früh beginnt und diese daher auch das Argument belegen, dass die Wurzelgalle ein starkes Sink – Organ ist. Zusätzlich wurde herausgefunden, dass die Nodositäten Nährstoffspeicher für die Reblaus bilden, aus denen sie ihren Nährstoffbedarf decken kann (Kellow et al., 2004). Es ist hierbei aber auch wichtig anzumerken, dass die Wurzelgalle die Assimilate (Saccharose, ...) in Stärke umwandeln muss, um diese speichern zu können, was in jungen Wurzeln schnell vor sich geht (Farrar and Jones, 2000). Diese Stärkeansammlung in den Nodositäten kann aber auch durch verlangsamtes Wurzelwachstum oder von physiologisch veränderten Wurzelzellen kommen (Kellow et al., 2004).

Abnormales Gewebewachstum kann u.a. durch galleninduzierende Insekten hervorgerufen werden, wobei diese die Art des Wachstums bestimmen. Diese Galleninduktion bewirkt eine Phenotyperweiterung (Nabity et al., 2013).

Dadurch, dass galleninduzierende Insekten festsitzen, konkurrieren sie mit wachsendem Pflanzengewebe an ein und derselben Stelle um Nährstoffe aus der Pflanze und bilden durch ihre Gallen Kohlenstoffsinks. Diese Sinks beeinflussen die Photosynthese (höhere Kohlenstofffixierungsrate). Für diese Beeinflussung ist eine Ressourcenmobilisierung und somit eine höhere Sinkaktivität der galleninduzierenden Insekten nötig (Nabity et al., 2013).

Wenn die Reblaus anfällige *Vitis* – Arten befällt, werden hunderte Gallen induziert, die als Sink – Organe wirken. Diese Gallen haben einen erhöhten Stärke- und Aminosäuregehalt. Wie oben erwähnt, wird bei Reblausbefall erhöht Kohlenstoff fixiert. Dies wird durch zusätzliche Stomata, die bei Reblausbefall gebildet werden, erleichtert. Gleichzeitig bewirken mehr Stomata eine höhere Transpirationsrate und somit einen erhöhten Nähr- und Mineralstofffluss in Richtung Blätter. Es wird angenommen, dass durch diese Erkenntnis die Anzahl an Rebläusen steigt, jedoch wird die Induktion der Gallen durch eine höhere Anzahl Stomata kompensiert.

Nabity et al., (2013) fand heraus, dass die Kohlenstoffaufnahme und die Transpiration durch die erhöhte Anzahl an Stomata für die Rebe erleichtert wird. Der Nährstoff- und Assimilatstrom im Xylem wird in Richtung Sinks verschoben.

Der meiste assimilierte Kohlenstoff wird von der Reblaus aufgenommen, der durch die erhöhte Transpiration zur Verfügung gestellt wird (Nabity et al., 2013).

Die Reblaus induziert an ihrem natürlichen Wirt, den amerikanischen *Vitis* – Arten, oberflächliche Gallen an Blättern und Wurzeln und an den europäischen *Vitis* – Arten schädigende Wurzelgallen. Wurzelgallen, die sich an Wurzeln von *V. vinifera* bilden, sind metabolisch aktive Organe, die eine starke sink – Wirkung haben. Des Weiteren kann ein Reblausbefall die Zerstörung des kompletten Wurzelsystems von *V. vinifera* zerstören (Kellow et al., 2004).

Kellow et al. (2004) hat herausgefunden, dass die Rebläuse in seiner Untersuchung ihre Nodositäten unmittelbar hinter den Wurzelspitzen oder in der Nähe der Zellstreckungszone etablieren. Mithilfe des Stechwerkzeuges saugen sie unmittelbar in den Zellen. Jene, die um die befallene Zelle liegen, sind nicht von der Reblaus manipuliert bzw. weisen keine starken Veränderungen des Aufbaus auf. Festzuhalten ist die höhere Konzentration von freien Aminosäuren und Amiden in Nodositäten, als in unbefallenen Wurzelspitzen (Kellow et al., 2004).

Nodositäten sind Nährstoffspeicher, von denen sich die Reblaus ernährt. Dabei sticht sie in Parenchymzellen im äußeren Bereich des Wurzelkortex. Somit gehört die Reblaus in die Kategorie der Blattläuse, die sich am Parenchym ernähren.

Die Nodositäten weisen in der äußeren Schicht einen erhöhten Stärkegehalt auf, was für die starke Sink – Wirkung ebendieser spricht. Diese Einlagerung benötigt einen Saccharoseimport und eine Umwandlung dieser in Stärke, die in jungen, im Wachstum stehenden Wurzeln rasch stattfindet (Kellow et al., 2004).

Der Gehalt an freien Aminostickstoffen, insbesondere Glutamin, ist in Nodositäten erhöht. Die hohe Konzentration an Amiden ist auf die erhöhte Phloementladung zurückzuführen, was für die hohe Sink – Aktivität schließen lässt (Pate, 1975). Es bestätigt damit die These, dass sich die Reblaus nahe des Phloems ernährt.

Die Wurzeln von *V. vinifera* sind für viele Pathogene anfällig, jedoch zeigt sie kaum oder gar keine adäquaten Reaktionen darauf. Aber durch die Bildung von Nodositäten zeigt die Rebe eine deutliche Antwort auf den Reblausbefall (Kellow et al., 2004).

Wieczorek et al., (2014) hat herausgefunden, dass die Reblaus dazu fähig ist, die Aufnahme und den Transport von Wasser und Nähr- bzw. Mineralstoffen zu verändern. Diese Tatsache bestätigt, dass dadurch die Translokationen in der Rebe verändert werden. Einige physiologische Veränderungen in den Nodositäten sind u.a. die Anhäufung von Aminosäuren, Proteinen oder Stärke. Gallen, die allgemein von Insekten induziert werden, sind Sink-Organen für Kohlenstoff und bilden Sinks für Nährstoffe und Assimilate.

In der Studie von Wieczorek et al. (2014) wurde CFDA (5(6)-Carboxy-2',7'-Dichlorofluorescein Diacetat) als Marker für den Saccharosetransport im Phloem bzw. die symplastische Phloementladung verwendet. Diese Studie ergab eine erhöhte Signale nahe den Einstichstellen der Reblaus. Das stärkste Signal wurde im Phloem gemessen, von wo aus CFDA in der Endodermis zur Reblaus verteilt wird.

Die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass es einen starken symplastischen Fluss von Phloem zu den Einstichstellen der Reblaus. Das CFDA Signal wurde, sofern Nodositäten, zu den Wurzeln getragen bzw. zu den Blättern, wenn Blattgallen vorhanden waren. Diese starke Sink-Aktivität hat mit der Wurzel- bzw. Blattgalle an sich zu tun, da diese durch die Speichelsekretion der Reblaus erst induziert werden und dadurch die Zellmorphologie stark verändern.

Diese Studie zeigte, dass Nodositäten symplastisch mit dem Gefäßsystem vernetzt sind und somit Saccharose symplastisch zur Reblaus gelangt (Wieczorek et al., 2014).

Forneck et al. (2016) zeigte in einem anderen Versuch, dass der Stärkegehalt in Nodositäten signifikant höher ist, als in nicht befallenen Wurzelspitzen. Dabei waren schon zu Beginn der Gallenetablierung sehr hohe Stärkegehalte sowie mit zunehmender Gallengröße zunehmende Stärkegehalte messbar. Sobald die Gallen größer wurden, nahm der Saccharose- und Glukosegehalt signifikant ab. Die nicht befallenen Wurzelspitzen von befallenen Pflanzen hatten die höchsten Konzentrationen beider Zucker. Daraus resultiert ein höheres Wurzelwachstum bei Reblausbefall.

Die Studie zeigte, dass die Phloementladung der Saccharose zu den Nodositäten symplastisch und schon in frühen Stadien der Wurzelgallenbildung abläuft. Die Reblaus induziert mit ihrem Speichel eine Veränderung in den Zellen der Wurzelspitze und somit eine Bildung von Wurzelgallen. Dadurch beginnt eine hohe metabolische Aktivität in dieser Region der Wurzel und eine erhöhte Sink-Aktivität. Stärkeansammlung in den Nodositäten geht mit der Genexpression des

Stärkemetabolismus einher und stellt ein weiteres wichtiges Ergebnis der Studie von Forneck et al. (2016) dar.

Bei dem vorliegenden Versuch wurden die Messungen an den Blättern durchgeführt, was laut Literatur von Vorteil ist, da das Wurzelsystem weniger empfindlich auf Trockenstress reagiert, als die Blätter (Lovisoló et al., 2010).

Im vorliegenden Versuch zum Trockenstress bei Unterlagsreben sind deutlich unterschiedliche Ergebnisse resultiert. Signifikante Unterschiede sind zwar tageweise gegeben, jedoch treten sie zu einem späteren Zeitpunkt nicht wieder ein, was eine aussagereiche Schlussfolgerung schwierig macht. Beispielsweise die Maximalchlorophyllfluoreszenz zeigt, dass Trockenstress die Kurvenverläufe erhöht und somit höhere Werte bildet. Die photosynthetisch aktive Strahlung andererseits liefert keine klar ersichtlichen Trends bei allen drei Unterlagen, da die Kurven am Beginn steigen und später wieder abfallen aufs Ausgangsniveau. Die Diagramme der Elektronentransportrate korrelieren mit denen der photosynthetisch aktiven Strahlung. Die effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II ist bei allen drei Unterlagen in etwa gleich. Dieser Parameter liefert während der Stressphase Werte, die schon in vorherigen Studien ermittelt wurden und aussagekräftigere signifikante Unterschiede zwischen den Trockenstressbehandlungen, da diese über einen relativ längeren Zeitraum auftreten.

Bei der Transpirationsrate treten keine Differenzierungen zwischen den Stressvarianten auf, was jedoch die Literatur widerlegt. Die Photosyntheserate andererseits sinkt, anstatt, wie angenommen, zu steigen. Diese Tatsache widerlegt das Argument, dass die Reblaus (bei Teleki 5C) die Photosyntheseaktivität erhöht.

Bei der Unterlage Teleki 5C, bei der die Inokulation erfolgreich zu einem Befall geführt hat, ist bei den Blattgewichten deutlich zu erkennen, dass die Reblaus bei zunehmendem Trockenstress die Blattgewichte reduziert. Der Effekt tritt synchron bei den Wurzelgewichten auf. Abschließend ist anzumerken, dass die Trockenstressphase nicht optimal durchgeführt wurde und die Ergebnisse dieses Versuches Neuigkeiten hinsichtlich einzelner Messparameter, wie etwa der beiden Chlorophyllfluoreszenzen oder der Photosyntheserate liefert.

Alle diese genannten Methoden werden von der Umwelt beeinflusst und daher ist es wichtig diese Mechanismen und die Reaktion der Weinrebe auf die immer mehr steigenden Temperaturen und den sich verändernden Klimaverhältnissen genauer zu erforschen.

Die Erforschung der Reaktionen von Unterlagsreben, die einerseits nicht phylloxeriert unter Trockenstress stehen und andererseits phylloxeriert sind, ist wichtig, um Unterschiede in der Reaktion der Pflanzen zu beobachten und etwaige Gegenmaßnahmen zu entwickeln.

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsglashaus

Der vorliegende Versuch wurde in einem Glashaus der Abteilung Wein- und Obstbau der Universität für Bodenkultur Wien am Standort Tulln durchgeführt. Das Glashaus befindet sich am Gelände des Universitäts- und Forschungszentrums Tulln (UFT).

Im Glashaus selbst wurden mittels einer Wetterstation der Firma Skywatch® GEOS der Temperatur- und der Luftfeuchtigkeitsverlauf gemessen und aufgezeichnet. Diese beiden Daten wurden als Tagesmittelwerte berechnet und sind in Abbildung 3 und 4 im Versuchszeitraum ersichtlich. Allgemein lässt sich daraus ablesen, dass im Durchschnitt die Temperatur während des Versuchszeitraums sehr sanft angestiegen und am Schluss wieder abgesunken ist. Einige Extreme nach oben sind Ende August – Anfang September sichtbar. Bei der Luftfeuchtigkeit ist anzumerken, dass diese zu Beginn kurz ansteigt, danach aber im Schnitt flach abfällt.

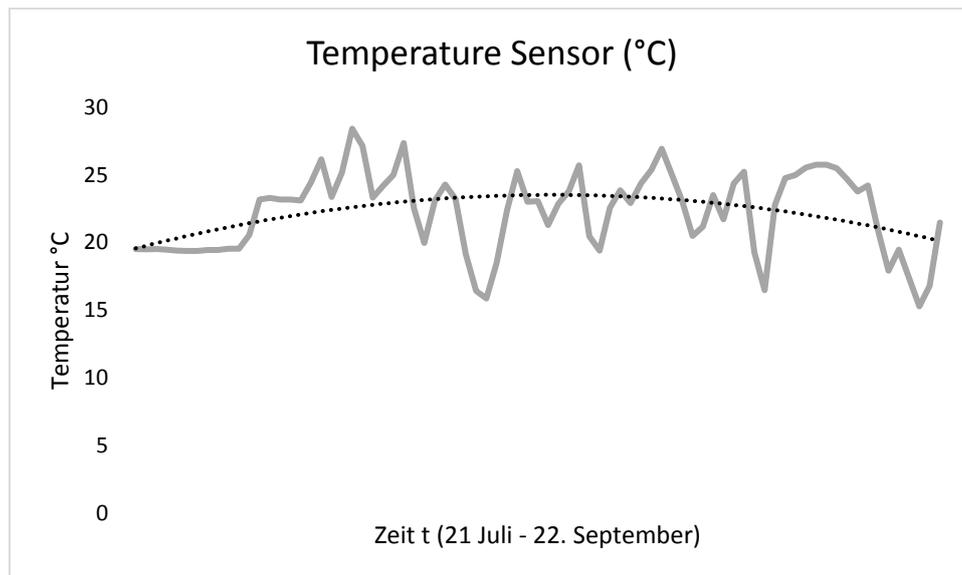


Abbildung 3 Temperaturverlauf im Glashaus

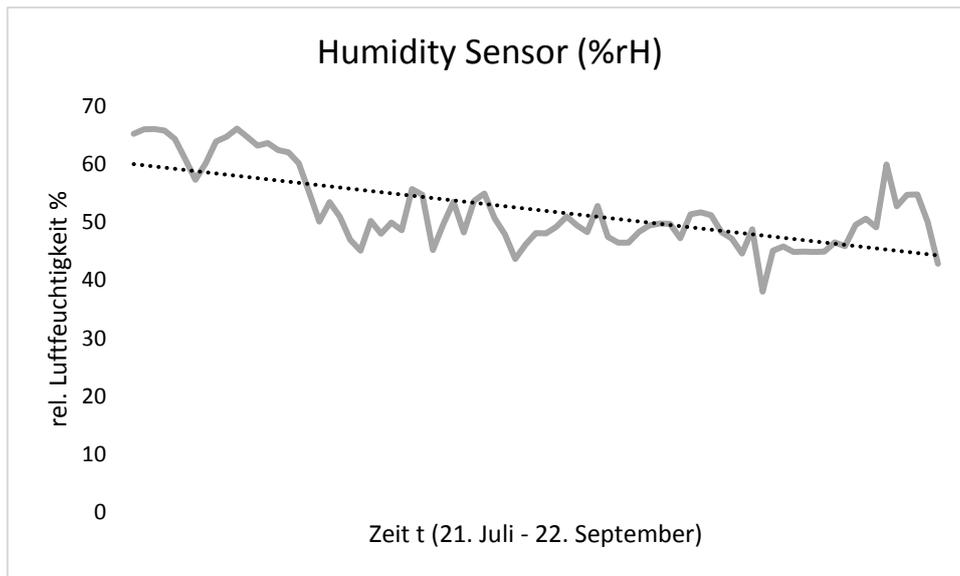


Abbildung 4 Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Glashaus

3.2 Stecklinge

Die Versuche wurden mit folgenden drei Unterlagsrebsorten durchgeführt: 1103 Paulsen (*Vitis berlandieri x Vitis rupestris*), 140 Ruggeri 4 Gm (*Vitis berlandieri x Vitis rupestris*) und Teleki 5C 6 – 52 Gm (*Vitis berlandieri x Vitis riparia*). Die Stecklinge wurden von der Rebschule Backknecht in 3495 Rohrendorf, Niederösterreich geliefert, die bereits auf ein Auge geschnitten waren.

3.3 Stecklingsanzucht

Einaugenstecklinge wurden am 16. Februar und 15. März 2016 im Glashausabteil der Abteilung Obst- und Weinbau vorgezogen. Dabei wurden die gelieferten, auf ein Auge geschnittenen Rebhölzer an der Seite des Auges schräg nach unten zur gegenüberliegenden Seite geschnitten, wo sich die Ranke befindet. Dieser Schnitt ist notwendig, um die Hormonkonzentration, die den Austrieb positiv beeinflusst, auf der Seite des Auges hochzuhalten. Auf dem anderen Ende des Rebholzes wurde ebenfalls ein Schnitt angesetzt, dieser jedoch gerade, um die ausgetrocknete Stelle zu entfernen und die Bewurzelung zu fördern. Daraufhin wurde das Holz einen Zentimeter tief in ein rooting medium (Rezept siehe Anhang) für ca. fünf Sekunden getaucht.

Die Stecklinge kamen in Torfpresstöpfe, Jiffy – 7 (40mm, Jiffy Products International AS, Norwegen), die vorher vorgequollen und in Kunststoffwannen gestellt wurden.

Die Wachstumsbedingungen in der Glashauskabine waren 16 Stunden Licht von Natriumdampflampen von 6 bis 22 Uhr, zehn Minuten pro Tag Tischbewässerung, 25°C Mindesttemperatur und 50% relative Luftfeuchtigkeit. Die Anzucht ist nötig um ein Wurzelsystem und vegetative Triebe zu entwickeln.

3.4 Eintopfen der Reben

An zwei Terminen, Mitte und Ende April 2016, wurden die Stecklinge getopft. Die Töpfe waren schwarze Polypropylentöpfe mit 20,8 cm Durchmesser, 28 cm Höhe und 7 L Volumen. Unter diese kamen Untertassen. Das Substrat bestand aus Einheitserde® Special Profi Substrat SP ED63 T Topfsubstrat.

Nach dem Eintopfen wurden Bambusstöcke als Rankhilfe in die Töpfe gesteckt, die jungen Reben mit einer Brause bewässert und die Blätter mit 0,75%igem Ferty-3-Mega Blattdünger benetzt. Dieser Dünger ist ein Nährsalz mit hohem Nitratstickstoffanteil, der einer Absenkung des pH-Wertes in Substraten verhindern soll. Die Dosierung des Salzes erfolgte mit 0,5‰ (50g/100L Wasser). Die Bestandteile bzw. Nährstoffe sind in Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1 Nährstoffgehalte der Bewässerung

Hauptnährstoffe:		Spurenelemente:	
18 % N	Gesamtstickstoff	0,020 % B	Bor
10 % NO ₃ -N	Nitratstickstoff	0,040 % Cu	Kupfer
8 % NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff	0,100 % Fe	Eisen
12 % P ₂ O ₅	wasserlösliches Phosphat	0,050 % Mn	Mangan
18 % K ₂ O	wasserlösliches Kaliumoxid	0,010 % Mo	Molybdän
2 % MgO	wasserlösliches Magnesiumoxid	0,010 % Zn	Zink

3.5 Etablierung im Glashaus

Die fertig getopften Reben wurden mit Untertassen auf Rollwägen mit Drahtrahmen zur Unterstützung der Reben gestellt und eine Tröpfchenbewässerung angeschlossen. Diese war so eingestellt, dass sie viermal täglich jeweils vier Minuten um sechs, zwölf, 15 und 19 Uhr tropfte. In Summe erhielt jede Pflanze in etwa 500 mL täglich.



Abbildung 5 Versuchspflanzen, links nach dem Topfen, rechts während des Wachstums

Regelmäßig wurden die Reben an den Bambusstöcken und am Drahtrahmen angebunden und die Geiztriebe entfernt, um den starken Haupttrieb zu fördern und zu erhalten. Die Triebe wurden über den kompletten Rolltisch homogen und randomisiert verteilt, sodass eine gleichmäßige Blattbelichtung gewährleistet werden konnte. Auf das Entspitzen wurde aufgrund von möglichen Stressreaktionen verzichtet. Laufende Pflanzenschutzmaßnahmen wurden durchgeführt.

Aufgrund von immer kürzer werdenden Tagen wurde am 1. September über den Versuchspflanzen Beleuchtungsmittel installiert. Die Lampenbezeichnung ist Hochdruck-Natriumdampf-Lampe Horti Master Agro 400W E40 1SL (Koninklijke Philips Electronics N.V., Amsterdam, Niederlande). Die Beleuchtung war täglich von sechs bis 22 Uhr in Betrieb bis zum letzten Tag des Versuchs.

3.6 Versuchsdesign

Der vorliegende Trockenstressversuch wurde so angelegt, dass insgesamt 100 Pflanzen im Versuch standen. Die Aufteilung erfolgte mit jeweils 40 Pflanzen 1103 Paulsen und Teleki 5C 6 – 52 Gm sowie 20 Pflanzen von Ruggeri 140 4 Gm. Diese wurden randomisiert aufgestellt, sodass die meisten Einflussfaktoren der Umwelt (Sonneneinstrahlung, Bewässerungsunterschiede, ...) vernachlässigbar waren.

Für die Behandlung mit Trockenstress war es nötig, die Pflanzen in Gruppen aufzuteilen, diese blieben jedoch randomisiert auf den Rolltischen stehen (Plan siehe Anhang).

Die beiden Unterlagen 1103 Paulsen und Teleki 5C 6 – 52 Gm waren vier Trockenstressbehandlungen, nämlich in 0%, 25%, 50% und 75% Trockenstress eingeteilt. Die Ruggeri 140 4 Gm waren lediglich in 0%, 50% und 75% Trockenstress aufgeteilt, aufgrund der geringeren Pflanzenanzahl. Von den ersten beiden Unterlagsreben erfolgten sechs Wiederholungen pro Trockenstresslevel mit Reblausinokulation, sowie vier Wiederholungen ohne Reblausinokulation. Bei Ruggeri 140 4 Gm gab es jeweils vier Wiederholungen mit Reblausinokulation und zwei ohne Inokulation bei Level 0% und jeweils drei bei Level 50% und 75% Trockenstress. Daraus resultiert eine Inokulationsrate von 60%. Dabei muss beachtet werden, dass bei den beiden Unterlagen 1103 Paulsen und Ruggeri 140 4 Gm die Inokulation zu keinem Befall geführt hat. Daher wurde bei diesen Reben bei der Auswertung der Daten nicht zwischen inokuliert und nicht inokuliert unterschieden. Der Treatmentplan ist im Anhang ersichtlich.

3.7 Inokulation

Zuerst wurden Blattgallen, die einen Tag zuvor gesammelt wurden, auf eine Petrischale gelegt und mittels Skalpell und Pinzette geöffnet, sodass das Innere, wo sich die Eier befinden, sichtbar war (Abbildung 7). Mit Hilfe eines Haarpinsels, der mit destilliertem Wasser benetzt war, wurden die Reblauseier aus der Blattgalle entnommen und auf Filterpapierstücke, die ebenfalls mit destilliertem Wasser benetzt waren, gegeben. Diese Schritte erfolgten unter dem Lichtmikroskop, wobei es das Ziel war mindestens 30 Eier pro Papierstreifen zu haben. Diese Streifen wurden in

Eppendorf® Reaktionsgefäßen mit 2mL Fassungsvermögen gesteckt und vorläufig mit dem Deckel verschlossen und in einem Rack gelagert und beschriftet.

Nach Sammeln der nötigen Menge, wurden die Eprövetten in das Substrat mit der Unterlagsrebe eingebracht. Der Deckel wurde mittels Rebschere entfernt und die Eprövette ohne der Öffnung wurde mit Alufolie umwickelt, sodass sie abgedunkelt war und die Rebläuse nicht zum Licht nach oben wanderten. Danach wurde mit einem Bambusstock ein Loch in die Erde gebohrt und die Eprövetten kopfüber hineingesteckt, sodass die Öffnung im besten Fall zu einer Wurzel Kontakt hatte. Dies wurde dreimal wiederholt, um sicherzugehen, dass genügend Reblauseier zur Unterlagsrebe eingebracht wurden.

Die Blattgallen für den vorliegenden Versuch stammten beim ersten und dritten Mal Inokulieren aus Göttlesbrunn, Niederösterreich (Abbildung 6) und beim zweiten Mal aus Wulkaprodersdorf, Burgenland. Die drei Termine waren am 27. Juli, am 2. August und am 8. August 2016.

Die fertig inokulierten Töpfe wurden jeweils in einen Müllsack der Eigenmarke von OBI®, der mit Bändern verschlossen werden kann, gestellt.

Die Maße der Müllsäcke sind 64 x 71 cm und sie haben ein Fassungsvermögen von 60 Litern.

Damit die nun sogenannten Quarantänesäcke dicht halten, wurde mit einem Schaumstoffstreifen (ca. 2 x 15 cm) der Bambusstock, die Weinrebe und der Bewässerungsschlauch umwickelt und mit einem Kabelbinder festgezogen. Auf dieser Stelle wurden die Bänder des Müllsacks festgezogen und verknotet.



Abbildung 6 Reblausblattgallen aus Göttlesbrunn, Niederösterreich

3.8 Untersuchungsmethoden

Die Gasaustauschmessung im vorliegenden Versuch erfolgte mittels LCpro – SD von ADC BioScientific© (Hoddesdon, York). Dieses Messgerät bietet die Möglichkeit, das Klima in der Blattkammer zu regeln bzw. zu programmieren. Die Lichteinheit, die aus roten und blauen LEDs zusammengesetzt ist, lässt sich manuell hinzuschalten; in diesem Versuch wurde die Belichtungsstärke (climate Q-Wert) auf $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ eingestellt. Das Gerät besitzt eine breite Blattkammer (area = $6,25 \text{cm}^2$), in der Temperatur, Licht und Luftfeuchtigkeit manuell regelbar sind. Da alle Messungen in einem Glashaus durchgeführt wurden, erfolgte die Luftzufuhr mittels Lanze, die an den Rolltischen angebracht und zur vollen Länge ausgefahren wurde (ca. 4m). Die CO_2 Konzentration lag bei ca. 400ppm. Der Luftstrom in der Blattkammer betrug in der Regel $200,35 - 200,7 \mu\text{mol s}^{-1}$.

Der Messvorgang selbst wurde so durchgeführt, dass am sechsten ausgewachsenen Blatt von unten, das mit einem farbigen Kabelbinder zur Wiedererkennung am Stiel markiert worden ist, die Blattkammer angesetzt wurde und nach zwei Minuten und nach weiteren 30 Sekunden eine Messung gespeichert wurde, sodass sich die CO_2 und H_2O -Werte stabilisieren konnten. Bei der nachfolgenden Auswertung im Excel wurde der Durchschnitt dieser beiden Messwerte berechnet und mit diesen Werten statistische Analysen durchgeführt.

Parameter: Das LCpro – SD berechnet einige Parameter während der Messung, im vorliegenden Versuch wurden jedoch nur die nachfolgenden Parameter zur Auswertung herangezogen: die Transpirationsrate E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), die stomatäre Leitfähigkeit g_s ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) und die Photosyntheserate A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Auf die Berechnung weiterer Parameter wurde hinsichtlich der Thematik der Untersuchung verzichtet.

Das PAM 2500 Chlorophyllfluorometer (Heinz Walz GmbH, Efeltrich, Deutschland) wurde zur Photosynthesemessung in dieser Untersuchung herangezogen. Es besitzt einen Messkopf, in dem das Messblatt, hier wieder dasselbe, das bei der Messung mit dem LCpro – SD verwendet wurde, eingespannt wird und mittels Tablet-PC und PamWin-3 Software ein Lichtreiz ausgesandt werden kann. Dieser wird von einer 630nm LED (rot) erzeugt und somit kann das Messgerät die Chlorophyllaktivität messen. Die Messeinheit wird mit einem speziellen Kabel mit der Steuereinheit verbunden und die Verbindung des Tablet-PC mit ebendieser Einheit erfolgt mit Bluetooth.

Die Messung an sich wurde so durchgeführt, dass das Blatt eingespannt wurde und nach einer ca. 30 sekündigen Stabilisationszeit der am PC angezeigten Lichtkurve, der Lichtreiz erzeugt wurde und die Messung stattfinden konnte.

Parameter: Gemessen wurden insgesamt sechs Parameter, von denen vier in die statistische Auswertung miteinbezogen wurden. Die photosynthetisch aktive Strahlung PAR ($\mu\text{mol Photonen m}^{-2} \text{s}^{-1}$), die Minimalchlorophyllfluoreszenz F_o' , die Maximalchlorophyllfluoreszenz F_m' , die Elektronentransportrate ETR ($\mu\text{mol Elektronen m}^{-2} \text{s}^{-1}$) und die photochemische Umsetzung bzw. Quantenausbeute des Photosystems II $Y(II)$ wurden bei jeder Messung ermittelt.

In Tabelle 2 sind die Messtermine mit beiden Geräten dargestellt.

Tabelle 2 Messtermine Trockenstress

Messgerät	Messdatum 2016											
LCpro-SD	28.7.	16.8.	31.8.			5.9.		9.9.	12.9.		20.9.	
PAM-2500	1.8.	12.8.	31.8.	1.9.	3.9.	5.9.	7.9.	9.9.	12.9.	14.9.	20.9.	21.9.

Zum besseren Verständnis der Messergebnisse werden nun die wichtigsten Parameter definiert. Beim LCpro – SD wurde der Wert „E“ ermittelt, welcher die Transpirationsrate darstellt. Diese definiert jene Menge an Wasser, die die Rebe pro Zeiteinheit in die Atmosphäre unter bestimmten Bedingungen abgibt. Der Wert „gs“ gibt die stomatare Leitfähigkeit an. Diese beschreibt den Öffnungsgrad der Stomata, d.h. je höher dieser Wert ist, desto mehr Wasser verdunstet und desto besser kann die Photosynthese funktionieren, aufgrund der CO₂ Einströmung. Der Parameter „A“ gibt die Photosyntheserate an, die die Abhängigkeit der Photosynthese von der Umwelt beschreibt, wie beispielsweise Licht oder die CO₂ Konzentration in der Umgebungsluft.

Mit dem PAM – 2500 Chlorophyllfluoreszenzometer wurde der „PAR“ Wert bestimmt, welcher die Photonenstromdichte angibt. Die ist die Beziehung zwischen absorbierten Photonen (400-700nm) und der photosynthetischen CO₂ – Bindung. Die Werte „F₀“ und „F_m“ sind Parameter der Chlorophyllfluoreszenz, die die Lichtabsorption von Chlorophyll beschreiben. „F₀“ ist die Minimal- und „F_m“ die Maximalchlorophyllfluoreszenzausbeute. Es kommt bei der Elektronenweiterleitung in der Elektronentransportkette zu Verlusten, die u.a. in Form von Fluoreszenz abgegeben werden. Der Wert „ETR“ bezeichnet die Elektronentransportrate, die die Anzahl der Elektronen pro Flächen- und Zeiteinheit in der Elektronentransportkette im Photosystem beschreibt.

3.9 Ablauf der Stressbehandlungen

In der letzten Augustwoche wurde die automatische Tischbewässerung von den Pflanzen getrennt und die Verbindungsschläuche abgenommen. Diese wurden entlang des Bambusstocks mit Klebeband befestigt, sodass das Ende in ca. einem Meter Höhe angebracht war. In dieser Woche wurden die Reben manuell mit einer Gießkanne gegossen, damit in etwa gleiche Wassersättigung pro Topf erreicht werden konnte. Vor dem Wässern wurde zur weiteren Berechnung des Stressgewichtes von drei trockenen und drei wassergesättigten Töpfen das Gewicht ermittelt.

Nach dieser Woche begann das Trockenstresstreatment. Alle Töpfe wurden mit einer 8kg Waage (SI-8001A, Denver Instruments, Sartorius, New York, USA) jeden zweiten Tag gewogen.

Am 30. August wurde eine Kalibrationsmessung der Topfgewichte durchgeführt und eine Microsoft Excel-Tabellenkalkulation (Microsoft Excel 2013) angelegt. Das Trockenstressgewicht ist in der Excel-Tabelle mit folgenden Formeln berechnet worden:

Anfangsgewicht – 2228g = Gewicht des Wassers im Substrat (2228g = Gewicht Substrat trocken, Topfleergewicht, Weinrebe)

*2228g + (Trockenstress in %*Gewicht des Wassers) = Zielgewicht des Topfes im Trockenstresszustand*

Jeden zweiten Tag wurde das Topfgewicht neu ermittelt und die Differenz, das fehlende Wasser, via Schlauch mit einem Trichter, der mit einer Pipettenspitze versehen war, und mit einem Messbecher bzw. einer 100mL Spritze aufgefüllt. Die Kontrollen (0% Trockenstress) wurden auf dem Anfangsgewicht gehalten. Sobald eine Pflanze das notwendige Stressgewicht erreicht hatte, wurde dieses fünf Tage lang gehalten und Messungen durchgeführt. Die Termine mit dem PAM Chlorophyllfluorometer waren vor Beginn der Behandlungen, am Tag des Erreichens des Stresslevels und am Tag vor der Probensammlung. Die Messungen mit dem LCpro – SD erfolgten etwa alle zwei Wochen (siehe Tabelle 3).

3.10 Probennahme

Blätter: Die Probennahme erfolgte nach dem fünften Tag des Erreichens des Trockenstresslevels im Labor. Dabei wurde zunächst ein adultes, ausgewachsenes Blatt von unten und ein junges, ebenfalls ausgewachsenes Blatt vom oberen Ende der Rebe abgenommen, in Alufolie (Rotilabo®-Aluminiumfolie, im Abreißkarton; Stärke 30µm, L 100m, B 500mm; Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland) verpackt, mit der Pflanzenummer beschriftet und sofort in flüssigen Stickstoff eingefroren. Die so verpackten Blätter werden im Tiefkühlschrank bei -80°C in einem Autoklaviersack bis zur weiteren Verwendung gelagert.

Des Weiteren wurden die restlichen ausgewachsenen Blätter abgesammelt und in zuvor gewogene und beschriftete Papierbeutel gegeben, gewogen und im Trockenschrank (Serie 4000, EHRET Labor- und Pharmatechnik GmbH und Co.KG, Emmendingen, Deutschland) bei ~72°C drei Tage getrocknet.

Nach der Trocknung wurde mit einer 600g Waage (SI-603A, Denver Instruments, Sartorius, New York, USA) das Trockengewicht pro Blatt im Excel ermittelt.

Wurzeln: Als Vorbereitung wurden 2mL Eppendorf® Eprouvetten abgewogen und mit der Pflanzennummer und ob sich darin Wurzelspitzen oder Wurzelgallen befinden, beschriftet. Der Quarantänesack wurde abgenommen, die Rebe und der Bambusstock entfernt und mit einer Pinzette und einem Skalpell wurden vom Wurzelballen pro Eprouvette maximal 30 Wurzelspitzen sowie -gallen gesammelt. Der Rack, in dem die Eprouvetten waren, stand in flüssigem Stickstoff und diese wurden dann zu den Blattproben in den Tiefkühlschrank bei -80°C gelagert. Die Spitzen und Gallen wurden gezählt und notiert. Auf die Bonitur des Reblausbefallgrades wurde aufgrund der statistischen Auswertbarkeit verzichtet.



Abbildung 7 reblausbefallene Wurzeln links, nicht befallene Wurzeln rechts

Das übrige Wurzelsystem wurde vom Substrat befreit, das in Autoklaviersäcke gegeben und wegen etwaigen Reblausrückständen autoklaviert wurde und unter fließendem Wasser gründlich gewaschen. Danach wurden die sauberen Wurzeln ebenfalls in einen beschrifteten Papierbeutel gegeben und im Trockenschrank bei ~72°C drei Tage getrocknet. Nach dieser Zeit wurde das Trockengewicht bestimmt und in Excel notiert.

3.11 Kalibrierung

Gleichzeitig zum Trockenstressversuch wurde ein Versuch zur Kalibrierung im selben Glashaus etabliert, in dem drei verschiedene Rebsorten untersucht wurden. Die Pflanzenanzahl betrug in Summe 80, welche aus der Unterlagsrebe Kober 5BB, der Edelrebsorte Müller-Thurgau wurzelecht und einer veredelten Variante mit Müller-Thurgau gepfropft auf Kober 5BB.

Dieser Versuch wurde zum Vergleich der unterschiedlichen Messparameter verwendet, jedoch standen die Pflanzen unter keinem abiotischen Stress, lediglich unter Reblausbefall.

Hier wird auf die Masterarbeit von Herrn Maximilian Ruhdorfer verwiesen. Diese beschäftigt sich ausschließlich mit dem Kalibrierungsversuch.

3.12 Statistische Auswertung

Die statistische Berechnung der Resultate erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 21.0 von IBM (SPSS Inc., Cary; NC, USA). Zunächst wurden Boxplots der einzelnen Messparameter erstellt, um so Ausreißer sichtbar zu machen und aus den Datensätzen zu löschen.

Darauf folgte ein Test auf Normalverteilung (LEVENE) und wenn die Signifikanz daraus $<0,05$ war, folgte der Mann-Whitney-U-Test zur Feststellung signifikanter Unterschiede (nichtparametrischer Test bei zwei unabhängigen Stichproben). Wenn bei LEVENE die Signifikanz $>0,05$ war, wurde mittels einfaktorieller ANOVA auf signifikante Unterschiede mit der SCHEFFÉ-Prozedur geprüft. Bei Unterschieden ($p < 0,05$) wurden die Mittelwerte mittels Mann-Whitney-U-Test verglichen ($p \geq 0,05 = \text{ns.}$; $p < 0,05 = \text{a, b, ab, ...}$).

Der SCHEFFÉ-Test lässt sich im Rahmen einer Varianzanalyse zur Bestimmung von signifikanten Unterschieden zwischen Gruppenmittelwerten einsetzen. Deshalb ist der Einsatz dieses Tests hier optimal.

4. Ergebnisse

Am 1. September wurde der Trockenstress erstmals eingeleitet. Genauer dargestellt werden meist die wichtigsten Messtage innerhalb der Trockenstressphase. Signifikante Unterschiede der verschiedenen Parameter, die an einzelnen Messtagen auftreten, sind im Anhang dargestellt.

4.1 Photosyntheseleistung

Die Einflüsse von Trockenstress auf die Photosyntheseleistung bei nicht phylloxerierten bzw. phylloxerierten Reben sind folgend dargestellt.

Folgende Abbildung 8 zeigt die relative Elektronentransferrate von 1103 Pausen. Es ist ein allgemeiner leichter Anstieg aller Werte ersichtlich. Die Behandlungen differieren sichtbar voneinander. Die Werte am 5.9., fünf Tage nach Beginn des Trockenstress, liegen zwischen 7,1 und 9,8 μmol . Die Kontrollvariante befindet sich im oberen Mittelfeld.

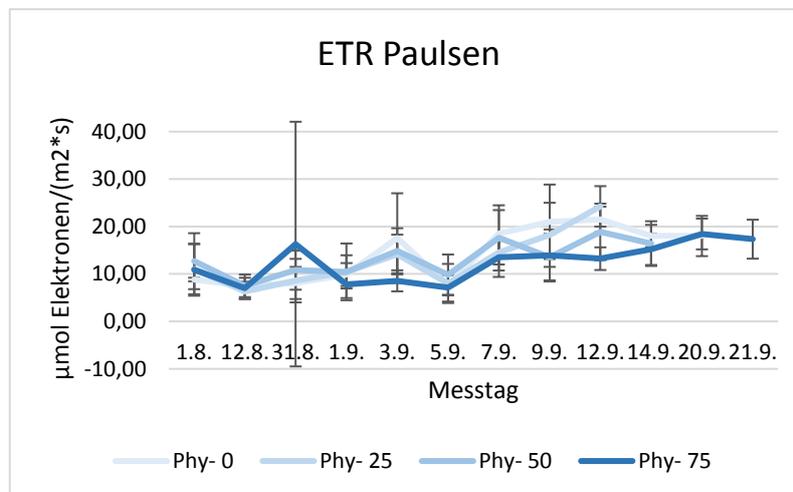


Abbildung 8 relative Elektronentransferrate 1103 Pausen

Die Elektronentransportrate im Laufe der Zeit ist in Abbildung 9 ersichtlich. Bei den Behandlungen mit 50% und 75% Trockenstress und der Kontrolle gibt es ab dem 5. September eine Aufwärtsbewegung. Am 20. September ist jedoch die Standardabweichung extrem hoch. Am 5.9. liegt die Streuweite bei 4,20 und 6,0 μmol und am 14.9. bei 10,0 und 14,50 μmol . Der Ausreißer am 12.9. bei der 50% Trockenstressvariante ist sehr unsicher.

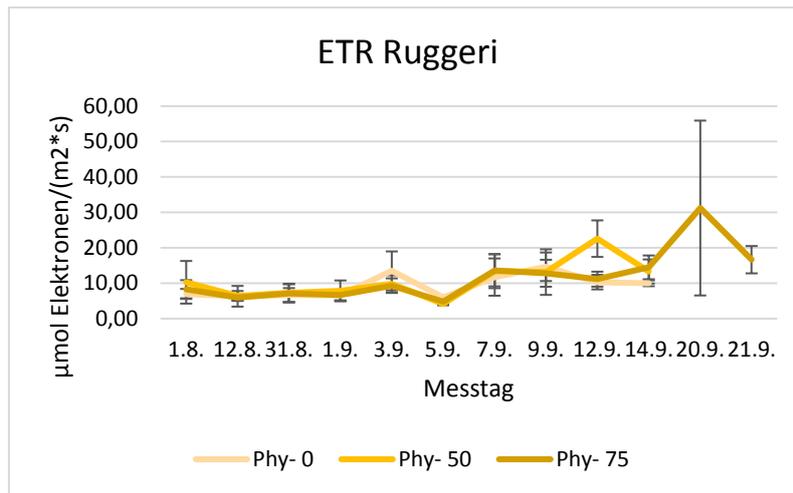


Abbildung 9 Elektronentransportrate 140 Ruggeri 4 Gm

Die Kurven der Elektronentransportrate in Abbildung 10 zeigen einen deutlichen Unterschied zwischen den Behandlungen. Die Kurven der reblausbefallenen Pflanzen liegen weitgehend unterhalb jener ohne Reblaus. Die Standardabweichungen sind sehr groß ab dem 1.9.. Am 31.8. (Stressbeginn) liegen die Messwerte zwischen 7,0 und 9,50 μmol und am 7.9. (Mitte des Stresszeitraumes) streuen sie zwischen 10,67 und 20,0 μmol . Die unbehandelte Kontrollvariante liegt hier im unteren Mittelfeld im Vergleich zu den anderen Varianten.

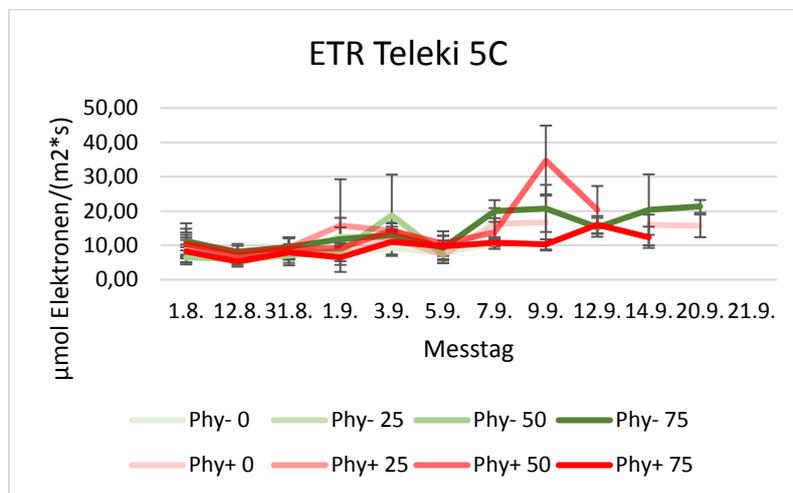


Abbildung 10 Elektronentransportrate Teleki 5C 6 - 52 Gm

Die folgende Abbildung 11 stellt die effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II dar. Hier ist ein Abwärtstrend der Werte ersichtlich, wobei die Schwankungsbreite am 5.9. bei 0,65 und 0,71 liegt. Sehr deutlich sieht man die Abwärtsbewegung vom 1.9. bis zum 9.9. des 75% Trockenstresstreatments, was dem Beginn des Stresszeitraumes entspricht. Wenn der Wert vom 12.9. vernachlässigt wird, dann setzt sich dieser Trend bis zum 20.9. fort. Die anderen drei Behandlungen haben einen unregelmäßigen Kurvenverlauf und unterscheiden sich sehr voneinander.

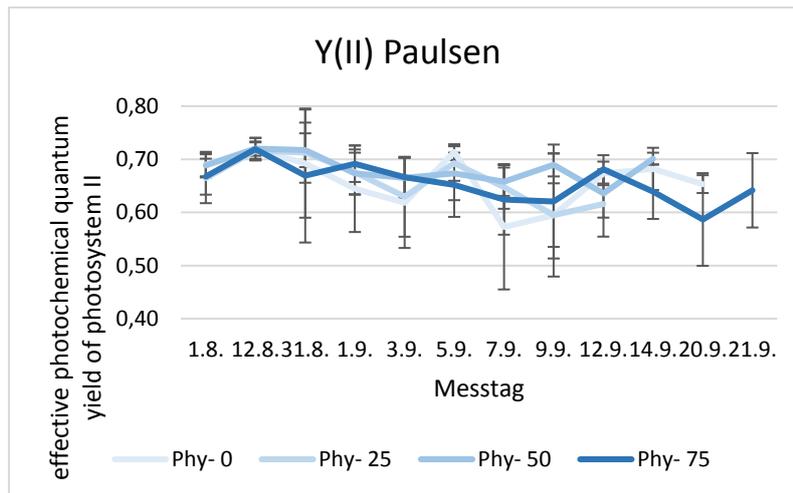


Abbildung 11 effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II 1103 Paulsen

Die folgende Abbildung 12 zeigt die effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II. Hier ist, wie bei der Unterlage 1103 Paulsen ein Abwärtstrend der Werte ersichtlich, wobei die Schwankungsbreite am 1.9. bei 0,66 und 0,69 liegt. Am 12.9. liegt der Bereich bei 0,64 und 0,68. Sehr deutlich ist die Abwärtsbewegung ab dem 9.9. der 75% Trockenstressvariante zu erkennen. Die Variante mit 50% Trockenstress bleibt in etwa gleich.

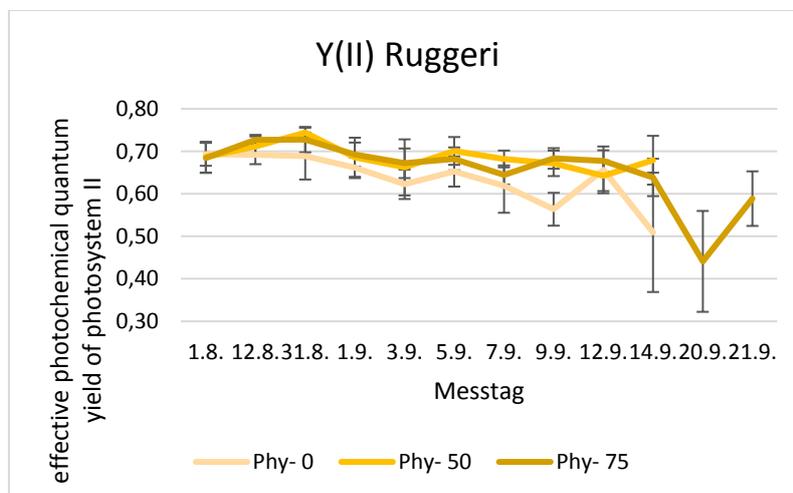


Abbildung 12 effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II 140 Ruggeri 4 Gm

Die Abbildung 13 zeigt die effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II. Hier ist kein eindeutiger Trend der Werte zu erkennen. Die Kurvenverläufe zeigen deutlich, dass sich die Varianten voneinander unterscheiden, wobei die Schwankungsbreite am 31.8. bei 0,65 und 0,74 liegt. Am 12.9. liegt der Bereich bei 0,64 und 0,68.

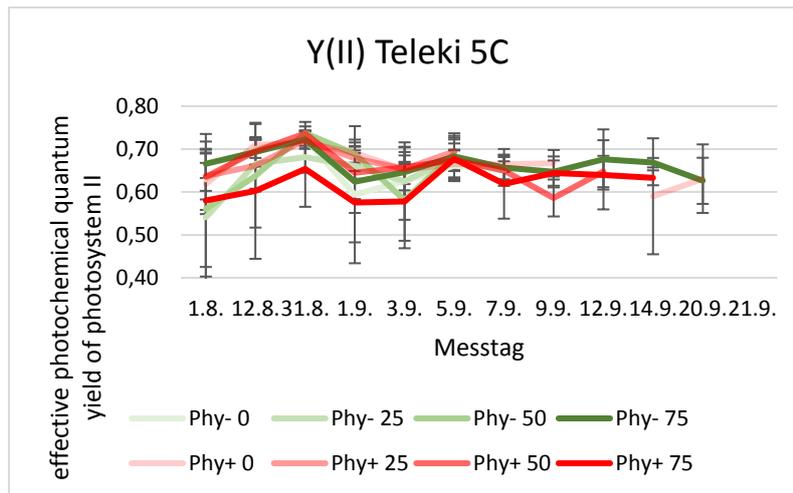


Abbildung 13 effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II Teleki 5C 6 - 52 Gm

Nachfolgende Tabelle 3 zeigt die beiden oben dargestellten Parameter zur Photosyntheseleistung in absoluten Zahlen. In diesem Fall ist kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Behandlungen zu erkennen.

Tabelle 3 Unterschiede in der Photosyntheseleistung zwischen den Parametern

Unterlage	Phylloxera	Trockenstress	ETR			Y(II)		
			31.8.	7.9.	14.9.	31.8.	7.9.	14.9.
Paulsen	Phy-	0	8,1	18,5	18	0,69	0,57	0,68
		25	8,6	14,5		0,71	0,65	
		50	10,8	17,6	16,4	0,72	0,66	0,7
		75	16,3	13,5	15,2	0,67	0,62	0,64
Ruggeri	Phy-	0	6,67	11,75	10	0,69	0,62	0,51
		25						
		50	7,29	13,43	13,33	0,74	0,68	0,68
		75	7,17	13,67	14,5	0,73	0,64	0,64
Teleki 5C	Phy-	0	8,25	10,67		0,72	0,65	
		25	7,25			0,68		
		50	7			0,74		
		75	9,5	20	20,33	0,72	0,66	0,67
	Phy+	0	7,6	16,25	16	0,72	0,66	0,59
		25	9,25			0,72		
		50	9	13,8		0,74	0,65	
		75	8	10,75	12,33	0,65	0,62	0,63

4.2 Gasaustausch

Folgend sind die Parameter und die Effekte von Trockenstress auf den Gasaustausch bei nicht phylloxerierten bzw. phylloxerierten Reben dargestellt. Die drei Parameter sind die Transpirationsrate, die stomatäre Leitfähigkeit und die Photosyntheserate.

Die Transpirationsrate in Abbildung 14 der Unterlage 1103 Paulsen bleibt über eineinhalb Monate in etwa konstant, zum Schluss steigen die beiden 0% und 50% Varianten nochmals an, aber hier wieder mit großer Unsicherheit. Die Streubreite der Werte am 5.9. liegt zwischen 1,83 und 2,23 mmol. Die am 12.9. liegt zwischen 1,58 und 3,41 mmol, was schon deutlich differiert. Hier sinkt wiederum die 75% Stressvariante deutlich.

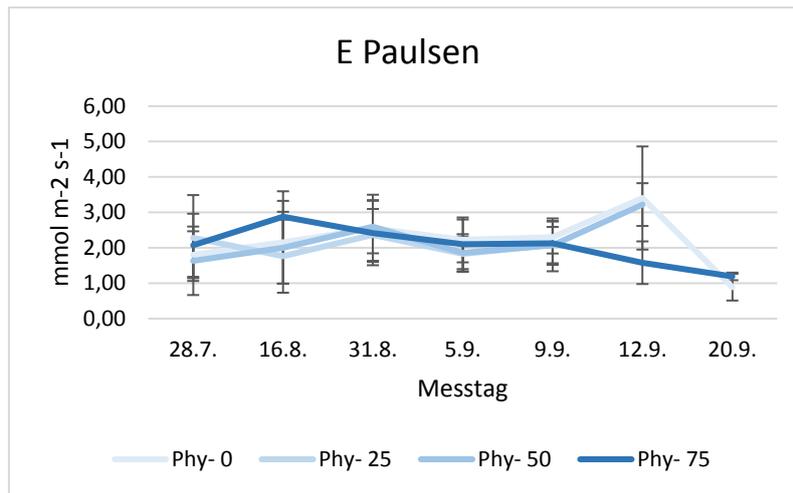


Abbildung 14 Transpirationsrate 1103 Paulsen

Die Transpirationsrate (Abbildung 15) verändert sich zu Beginn der Messungen kaum, jedoch wieder ab dem 9. September steigt der Wert der beiden Behandlungen 50% und 75% Trockenstress. Die Kontrolle bleibt in etwa gleich. Die Messwerte streuen am 31.8. zwischen 1,80 und 2,12 mmol und am 12.9. zwischen 2,27 und 4,44 mmol. Es ist jedoch ein einheitlicher Kurvenverlauf erkennbar.

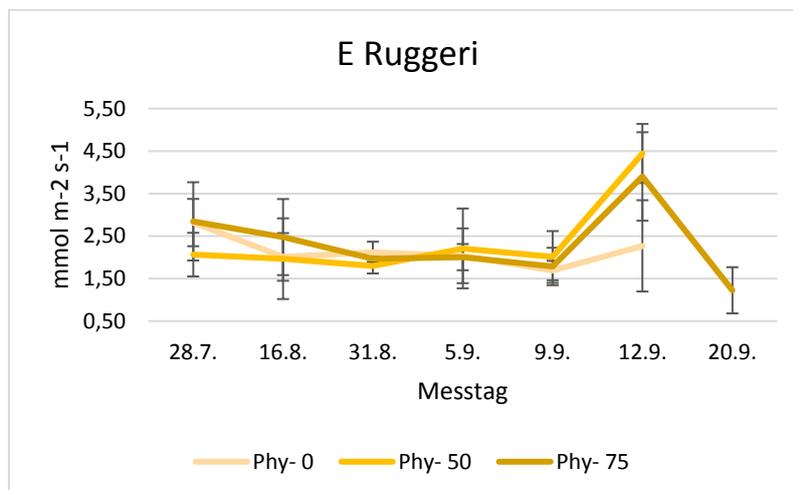


Abbildung 15 Transpirationsrate 140 Ruggeri 4 Gm

Die Transpirationsrate von Teleki 5C 6 – 52 Gm (Abbildung 16) zeigt insgesamt einen Anstieg der Behandlungen mit Reblaus während des Treatmentzeitraumes und herauszuheben ist der Abfall der Kurve der Behandlung 75% Trockenstress ohne Reblaus ab Treatmentbeginn. Die Streuweite der Messwerte am 31.8. liegen zwischen 1,52 und 2,48 mmol und am 12.9. zwischen 1,09 und 2,62 mmol.

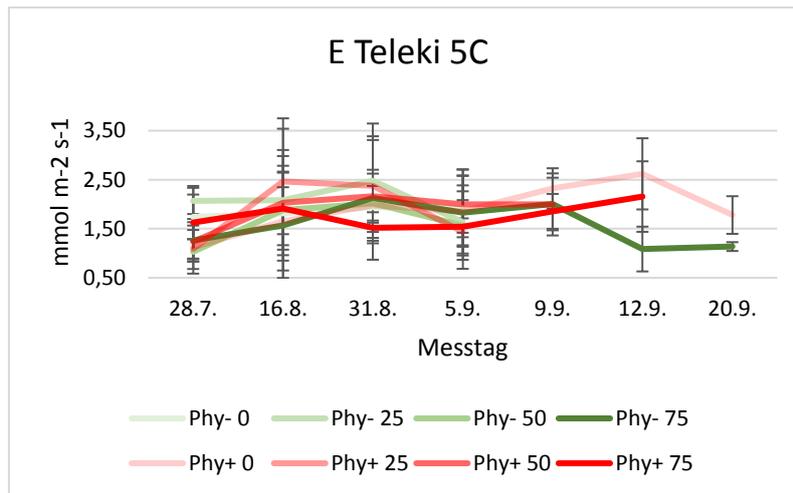


Abbildung 16 Transpirationsrate Teleki 5C 6 - 52 Gm

Der Graph der stomatären Leitfähigkeit (Abbildung 17) von 1103 Pausen zeigt ein ständiges Auf und Ab der Unterlage 1103 Pausen der beiden Treatments 25% und 50% Trockenstress, hingegen die 0% und 75% Trockenstress Varianten haben zunächst einen Aufwärtstrend, fallen danach aber ab. Die Kurven weisen bis zum 9.9. keinen einheitlichen Verlauf auf, danach fallen die drei Behandlungen ab, wobei die Streuweite am 9.9. zwischen 0,14 und 0,18 mol und am 12.9. zwischen 0,04 und 0,11 mol.

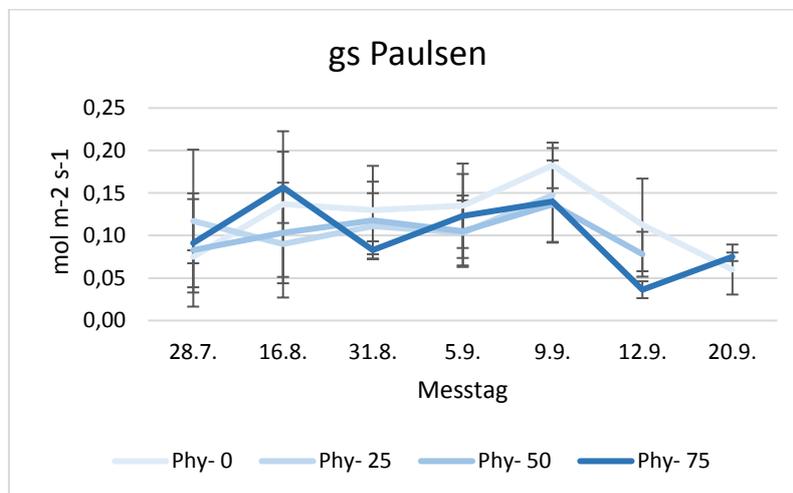


Abbildung 17 stomatäre Leitfähigkeit 1103 Pausen

Die stomatäre Leitfähigkeit von 140 Ruggeri 4 Gm ist in Abbildung 18 ersichtlich. Hier ist klar zu sehen, dass die Wert der Kontrolle und der 75% Trockenstressvariante stetig abnehmen, jedoch das Treatment mit 50% zunimmt. Am 31.8. streuen die Messwerte von 0,08 bis 0,11 mol und am 12.9. von 0,06 bis 0,13 mol.

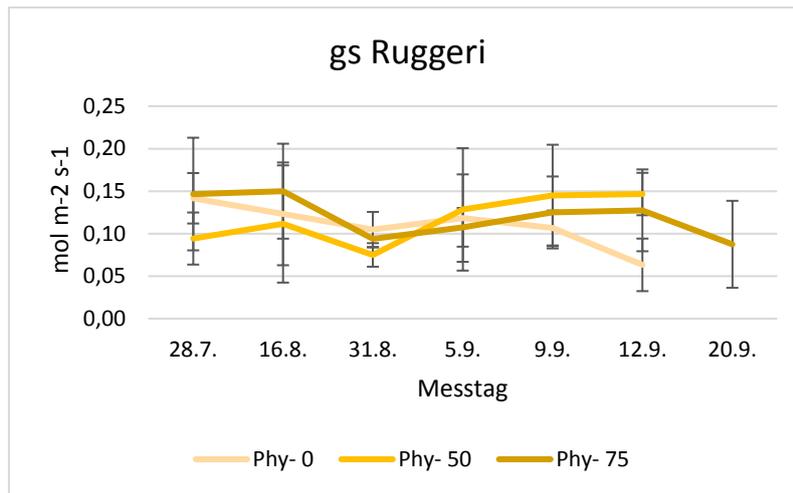


Abbildung 18 stomatare Leitfähigkeit 140 Ruggeri 4 Gm

Folgende Abbildung 19 zeigt die stomatare Leitfähigkeit von Teleki 5C 6-52 Gm. Generell ist ein Aufwärtstrend aller Kurven im Zeitraum Messbeginn (28.7.) bis 9. September. Hier liegen wiederum die Behandlungen ohne Reblaus zwischen denen mit Reblaus. Die Kontrollvariante liegt deutlich im oberen Mittelfeld. Am 31.8. liegen die Werte zwischen 0,06 und 0,12 mol und am 9.9. zwischen 0,11 und 0,17 mol.

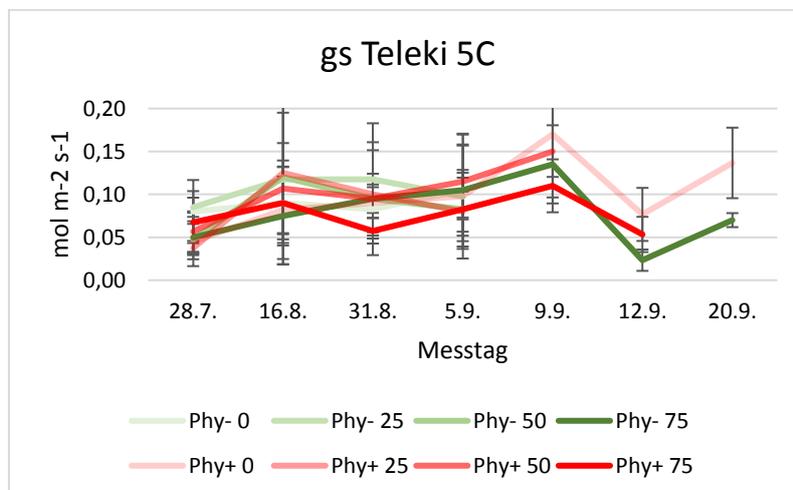


Abbildung 19 stomatare Leitfähigkeit Teleki 5C 6 - 52 Gm

Die folgende Abbildung 20 zeigt die Photosyntheserate von 1103 Paulsen, wobei ersichtlich ist, dass zu Beginn alle Varianten ansteigen, Mitte September jedoch wieder abfallen. Die Streubreite liegt am 31.8. zwischen 3,92 und 5,92 μmol und Mitte September 3,11 und 5,89 μmol , also nicht weit auseinander.

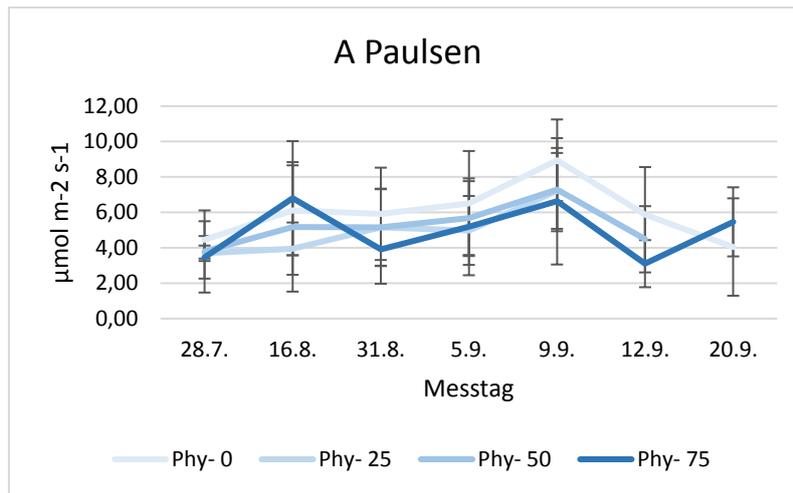


Abbildung 20 Photosyntheserate 1103 Paulsen

Das Diagramm der Photosyntheserate (Abbildung 21) von 140 Ruggeri 4 Gm im Vergleich hingegen zeigt einen klar ersichtlichen Abwärtstrend der Kontrolle und einen Anstieg der 50% Trockenstressvariante. Die 75% Behandlung bleibt während des Treatments, nach einem leichten Anstieg, nahezu unverändert. Die Messwerte am 31.8. streuen zwischen 3,43 und 4,23 μmol und am 12.9. zwischen 1,42 und 5,49 μmol . Diese Werte zeigen eine deutliche Differenzierung der Behandlungen.

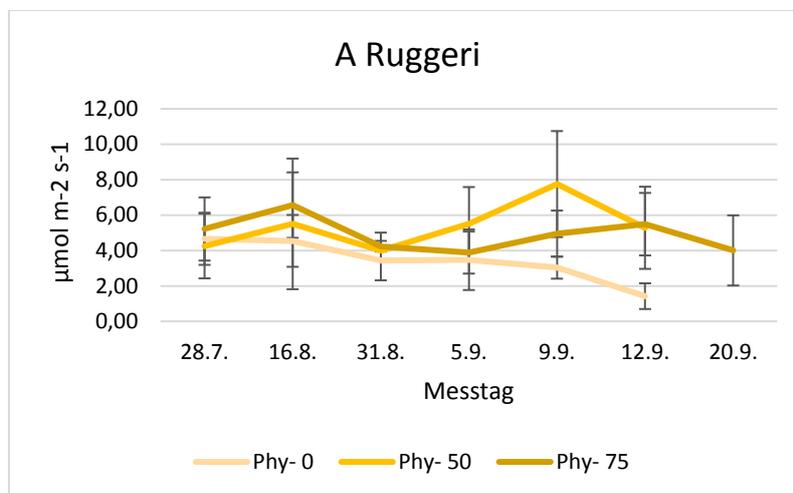


Abbildung 21 Photosyntheserate 140 Ruggeri 4 Gm

Abschließend ist der Graph der Photosyntheserate in Abbildung 22 der Unterlage Teleki 5C 6-52 Gm dargestellt. Er bildet hohe Werte Mitte August und Anfang September ab. Ein einheitlicher Kurvenverlauf ist ersichtlich, jedoch liegen die Werte weit auseinander. Am 31.8. sind sie zwischen 3,27 und 5,63 μmol und am 9.9. zwischen 5,08 und 8,29 μmol .

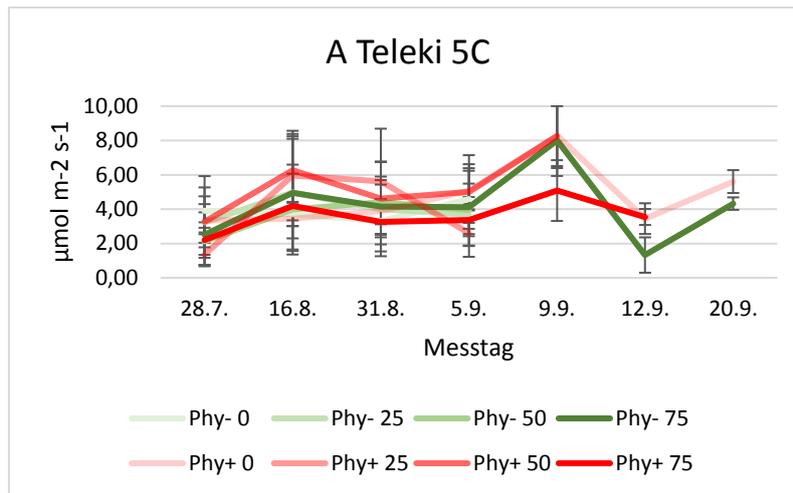


Abbildung 22 Photosyntheserate Teleki 5C 6 - 52 Gm

Folgende Tabelle 4 zeigt die drei dargestellten Parameter zum Gasaustausch in absoluten Zahlen sowie in Rot die signifikant unterschiedlichen Behandlungen in Bezug zur Kontrolle.

Tabelle 4 Unterschiede im Gasaustausch zwischen den Parametern (signifikante Unterschiede in rot)

Unterlage	Phylloxera	Trockenstress	E			gs			A		
			31.8.	5.9.	12.9.	31.8.	5.9.	12.9.	31.8.	5.9.	12.9.
Paulsen	Phy-	0	2,55	2,23	3,41	0,13	0,14	0,11	5,92	6,5	5,89
		25	2,37	1,83		0,11	0,1		5,15	4,98	
		50	2,6	1,85	3,22	0,12	0,11	0,08	5,16	5,68	4,48
		75	2,42	2,1	1,58	0,08	0,12	0,04	3,92	5,19	3,11
Ruggeri	Phy-	0	2,12	2,04	2,27	0,11	0,12	0,06	3,43	3,48	1,42
		25									
		50	1,8	2,21	4,44	0,08	0,13	0,15	3,99	5,51	5,28
		75	1,97	2,01	3,9	0,09	0,11	0,13	4,23	3,88	5,49
Teleki 5C	Phy-	0	1,94	1,92		0,08	0,11		3,31	4,59	
		25	2,48	1,64		0,12	0,1		4	3,69	
		50	2,02	1,57		0,1	0,08		4,41	3,95	
		75	2,13	1,83	1,09	0,1	0,11	0,02	4,16	4,12	1,33
	Phy+	0	1,98	1,86	2,62	0,09	0,1	0,08	3,89	5,08	3,45
		25	2,37	1,44		0,1	0,08		5,63	2,61	
		50	2,16	2		0,1	0,12		4,61	5	
		75	1,52	1,54	2,16	0,06	0,08	0,05	3,27	3,36	3,54

Nachfolgend ist in Tabelle 5 eine Zusammenfassung der Messparameter dargestellt.

Tabelle 5 Parameter von PAM - 2500 und LCpro - SD

Parameter PAM – 2500	Einheit	Bedeutung
PAR	$\mu\text{mol Photonen}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	photosynthetisch aktive Strahlung
Fo'	-	Mindestchlorophyllfluoreszenz
Fm'	-	Maximalchlorophyllfluoreszenz
ETR	$\mu\text{mol Elektronen}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	Elektronentransportrate
Y(II)	-	Effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II
Parameter LCpro – SD		
A	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Photosyntheserate
E	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Transpirationsrate
gs	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	stomatäre Leitfähigkeit

4.3 Sinkaktivität

Als letzte Hypothese wird auf die Effekte von Trockenstress auf die Sinkaktivität bei nicht phylloxerierten bzw. phylloxerierten Reben eingegangen. Auf die Demonstration der Frischgewichte der Blätter wird verzichtet; diese korrelieren mit denen der Trockengewichte. Im Anhang sind die Trockengewichte der Blätter und Wurzeln, sowie der Reblausbefall in einer Tabelle dargestellt. Die Daten, die in den Diagrammen zu sehen sind, sind Durchschnittszahlen aus dieser Tabelle, die von Extremwerten bereinigt wurden.

Die beiden statistischen Tests, die zur Ermittlung signifikanter Unterschiede herangezogen wurden, sind der Mann – Whitney – U Test und der Scheffé – Test. Ersterer ist ein Homogenitätstest und wird zur Überprüfung der Signifikanz zweier Verteilungen eingesetzt. Der Scheffé – Test dient zur Ermittlung von Signifikanzen in der Varianzanalyse (lineare Regressionsanalyse).

In Abbildung 23 ist zu sehen, dass sich das durchschnittliche Einzelblattgewicht der Unterlage 1103 Paulsen der Behandlung 0% Trockenstress von der 25% und 75% signifikant unterscheidet. Lediglich die Behandlung 50% Trockenstress weist keinen Unterschied zu den anderen drei Varianten auf. Hier wurde der Mann-Whitney-U-Test angewendet.

Des Weiteren fällt auf, dass die Kontrolle das höchste Einzelblattgewicht hat und die beiden Behandlungen 25% und 75% Trockenstress sehr ähnliche Gewichte haben.

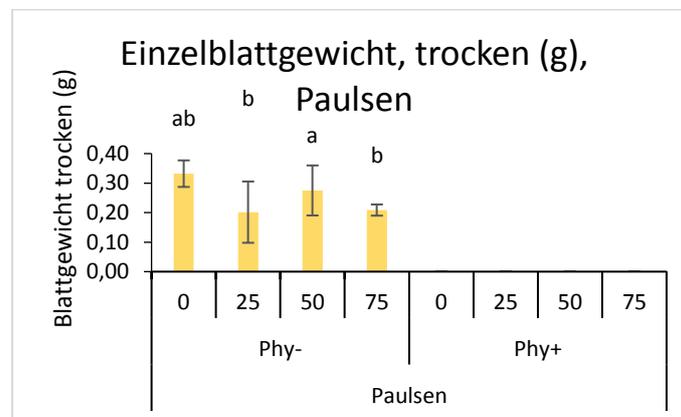


Abbildung 23 Einzelblattgewicht trocken 1103 Paulsen

Bei der Auswertung der Trockengewichte der Wurzelsysteme wurde bei der Unterlage 1103 Paulsen der Scheffé-Test angewendet. Bei der Auswertung der Trockengewichte der Wurzelsysteme ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den 0% bzw. 50% und der 25% und der 75% Variante.

Das Wurzelgewicht weist ähnliche Eigenschaften auf in Bezug auf die Behandlungen wie die Einzelblattgewichte.

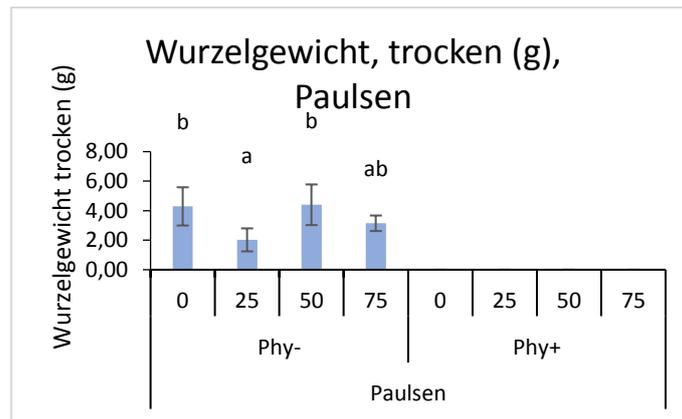


Abbildung 24 Wurzelgewicht trocken 1103 Paulsen

Im Diagramm der Unterlagsrebe 140 Ruggeri 4 Gm findet sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen.

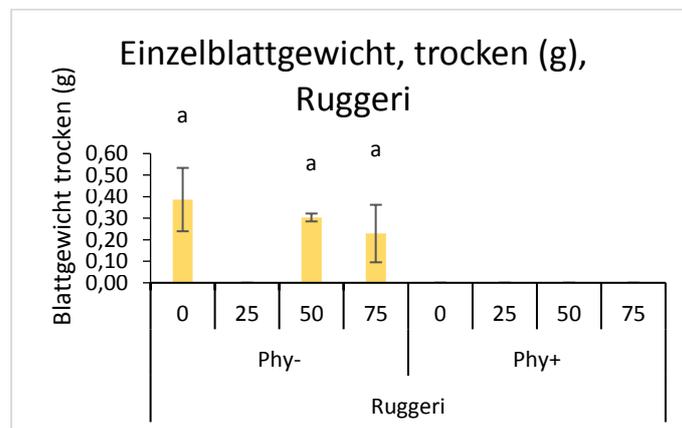


Abbildung 25 Einzelblattgewicht trocken 140 Ruggeri 4 Gm

Der Scheffé-Test bei der Auswertung der Wurzelgewichte der Unterlage 140 Ruggeri 4Gm zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Behandlungen.

Die Werte der beiden Diagramme (Abbildung 25 und 26) der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm korrelieren miteinander. Die Behandlung 75% Trockenstress weist die geringsten Gewichte auf und die Kontrolle die höchsten.

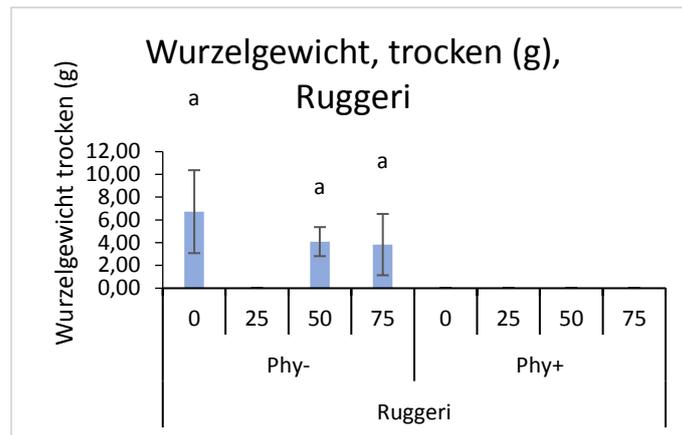


Abbildung 26 Wurzelgewicht trocken 140 Ruggeri 4 Gm

Es resultierten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen bei den Einzelblattgewichten der Unterlage Teleki 5C 6-52 Gm.

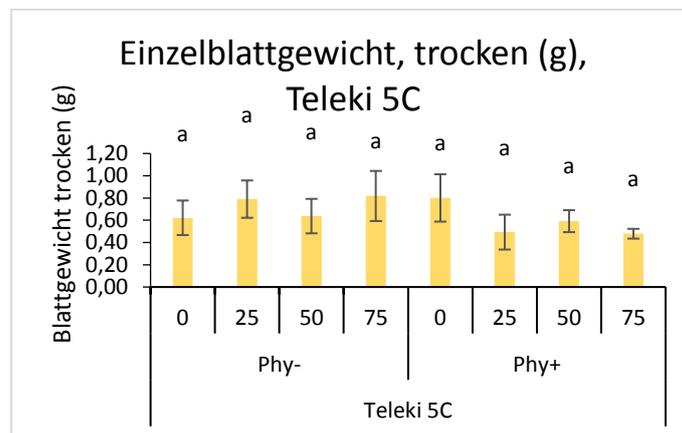


Abbildung 27 Einzelblattgewicht trocken Teleki 5C 6 - 52 Gm

Signifikante Unterschiede beim Wurzelgewicht der Teleki 5C 6 – 52 Gm gibt es bei den Behandlungen 50% Trockenstress ohne Reblaus sowie 75% mit Reblaus und der Kontrolle. Das ergab der Mann-Whitney-U-Test.

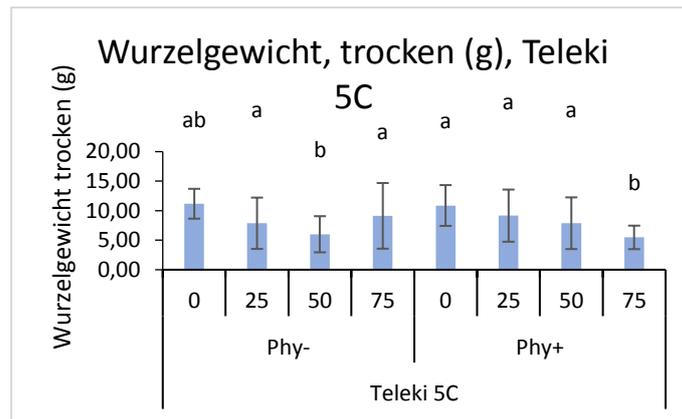


Abbildung 28 Wurzelgewicht trocken Teleki 5C 6 - 52 Gm

Abbildung 29 zeigt das Einzelblatttrockengewicht der unterschiedlichen Behandlungen der Unterlage Teleki 5C 6 – 52 Gm nebeneinander. Es ist zu erkennen, dass die Werte aller Trockenstressvarianten mit Reblaus unterhalb der Behandlungen ohne Reblaus liegen. Die 0% Trockenstressvariante ist umgekehrt.

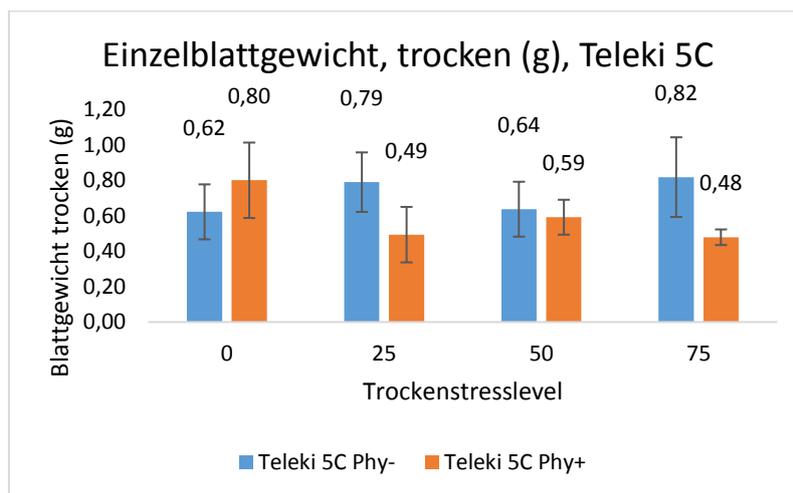


Abbildung 29 Blattgewicht trocken Vergleich Teleki 5C 6 - 52 Gm

Bei den Trockengewichten der Wurzelmasse der Teleki 5C 6 - 52 Gm liegen die Werte der Behandlungen mit Reblaus bei Treatment 25% und 50% Trockenstress über denen ohne Reblaus. Die Behandlung 75% Trockenstress mit Reblaus ist unter den Werten jener ohne Reblaus. Die Kontrolle ist nahezu ident.

Im Vergleich zeigen die Diagramme im 75% Trockenstressbereich ein wichtiges Ergebnis auf. Die Unterlage kompensiert den Trockenstress mit einem erhöhtem Einzelblattgewicht bzw. einem höheren Wurzelgewicht.

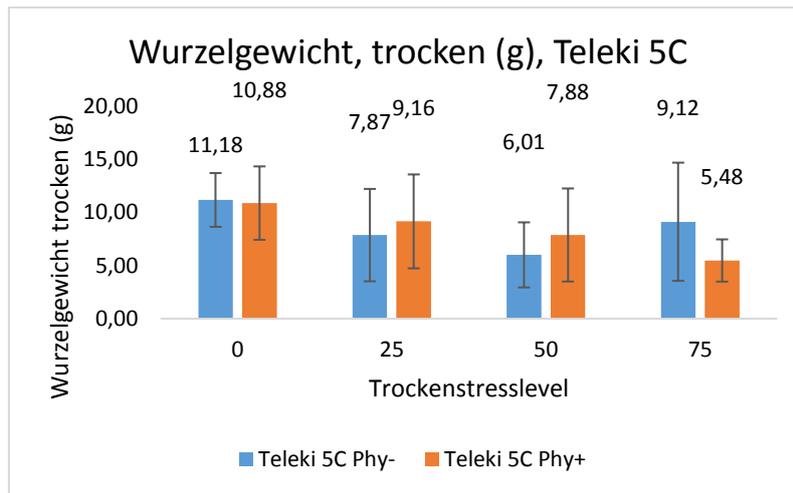


Abbildung 30 Wurzelgewicht trocken Vergleich Teleki 5C 6 - 52 Gm

5. Diskussion

In den Weingärten ist Phylloxerierung vorhanden und Unterschiede zwischen den Unterlagsreben sind kaum erforscht. Die Reblaus ist dafür bekannt große wirtschaftliche Schäden im Weinbau anrichten zu können und als eine Gegenmaßnahme hat man die Veredelung von Edelrebsorten auf Unterlagsreben mit amerikanischer Herkunft entwickelt. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich primär auf mögliche Unterschiede in der Photosyntheseleistung von reblausinfizierten im Vergleich zu nicht-infizierten Unterlagsreben und auf mögliche Unterschiede der Sink – Source Verteilung ebendieser beiden Varianten.

Bei den Unterlagen 1103 Paulsen und 140 Ruggeri 4 Gm fand keine erfolgreiche Inokulation mit der Reblaus statt. Mit dem PAM – 2500 Chlorophyllfluoreszenzometer wurden fünf wichtige Parameter, PAR, F_0' , F_m' , ETR und $Y(II)$ gemessen.

Die Messtermine waren nicht homogen im Versuchszeitraum verteilt. Der Abstand zwischen den Messterminen war nicht immer gleich lang und auch die Messungen wurden nicht immer von derselben Person durchgeführt. Je nach Arbeitsaufwand konnten die Messungen nicht immer zur selben Uhrzeit begonnen und beendet werden, worauf eventuell die Unregelmäßigkeiten in den Kurvenverläufen zurückzuführen sind. Des Weiteren spielten auch die kürzer werdenden Tage im Herbst eine große Rolle und wirkten sich auf die Messergebnisse aus. Die Beleuchtungskörper wurden nur über dem Trockenstressversuch angebracht und über der Kalibrierung jedoch nicht.

Grundsätzlich steigen die PAR – Werte von Beginn an langsam, jedoch sieht man keinen Trend bis zum 5. September. Danach steigen die Werte aller Behandlungen an, bevor sie wenige Tage später wieder abflachen. In der Literatur gibt es auch keinen aussagenden Trend beim PAR – Parameter bei trockengestressten Reben (Merli et al., 2015), (Galbignani et al., 2016).

Im Vergleich ist beim Diagramm der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm zu erkennen, dass es wieder zu Beginn keine Veränderung des Kurvenverlaufes gibt, jedoch aber am 20. September ist ein Ausreißer nach oben von der 75% Trockenstressvariante zu sehen, der bei sonst keiner der drei Versuchspflanzen zu sehen ist. Allerdings ist dieser Ausreißer nicht aussagekräftig aufgrund der geringen Anzahl an Versuchspflanzen an diesem Messtag. Bei der Unterlage Teleki 5C 6 – 52 Gm stellt sich jedoch ein Unterschied ab dem 7. September ein, die 50% Trockenstressvariante mit Reblaus steigt rapide an und die 75% Trockenstressvariante ohne Reblaus bekommt eine Aufwärtsbewegung. Der Wert verdoppelt sich in etwa im Vergleich zum Anfangswert.

Bei der Unterlage 1103 Paulsen war am 12. September ein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen 25% Trockenstress und der Kontrolle sowie der Variante mit 50% bzw. 75% Trockenstress das Ergebnis. Im Graphen, in der der Parameter im Lauf der Zeit eingetragen ist, divergieren die Werte an diesem Datum voneinander. Leider stellt sich der signifikante Unterschied danach nicht mehr ein.

Bemerkenswert sind die signifikanten Unterschiede bei der Unterlagsrebe 140 Ruggeri 4 Gm. Die Unterschiede liegen am 5. September zwischen allen Behandlungen und am 12. September nur zwischen der Kontrolle bzw. 75% und 50% Trockenstress.

Bei der Teleki 5C 6 – 52 Gm stellte sich bald nach Einwirkung des Trockenstresses ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten ein, am stärksten bei der Behandlung mit 75% Trockenstress mit Reblaus im Vergleich zur Kontrolle.

Zusammenfassend liefert dieser Parameter im vorliegenden Versuch keine ausreichend abgesicherten Trends und somit keinen klaren Schluss auf die Auswirkung von Trockenstress.

Die Graphen der Mindestchlorophyllfluoreszenz weisen bei keinem der drei Versuchspflanzen einen Trend bzw. einen Unterschied zwischen den Behandlungen auf und es war an keinem Messtag ein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen. Die Literatur besagt ebenfalls, dass der F_0' – Wert nahezu konstant bleibt (Zulini et al.).

Im Vergleich dazu zeigen die Graphen der Maximalchlorophyllfluoreszenz vor allem bei den Werten der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm einen Unterschied zwischen den Behandlungen. In diesem Fall bildet die Kontrolle die unterste Kurve, die man deutlich sehen kann. Bei den anderen beiden Unterlagsreben findet man keinen Unterschied zwischen den Varianten, jedoch einen leichten Abwärtstrend im gesamten Verlauf des Versuchszeitraumes. Wiederum ist kein signifikanter Unterschied an keinem Messtag resultiert. Die Literatur liefert dazu dieselben Ergebnisse (Flexas et al., 1998). Bei diesem Parameter ist in der Literatur ersichtlich, dass sich der leichte Abwärtstrend, der in der vorliegenden Arbeit ersichtlich ist, bestätigt (Zulini et al.).

Interessanterweise wurde in einer Untersuchung in Australien herausgefunden, dass bei wassergestressten und reblausbefallenen Reben der Chlorophyllgehalt stark zurückgegangen ist, was sich möglicherweise damit erklären lässt, dass die Reblaus die Wasseraufnahme stark beeinflusst und dadurch den Wasserstress bzw. Trockenstress noch verschärft (Blanchfield et al., 2006).

Der Parameter ETR lieferte bei der Unterlage 1103 Paulsen am 3. und 12. September signifikante Unterschiede vor allem zwischen der 25% und der 75% Trockenstressvariante. Im Vergleich dazu sind bei der Unterlagsrebe 140 Ruggeri 4 Gm am 5. und 12. September vor allem bei den beiden Varianten mit 50% und 75% Trockenstress resultiert. Bei der Teleki 5C 6 - 52 Gm liegt der signifikante Unterschied am 1., 3. und 9. September vor allem bei der Behandlung mit 75% Trockenstress mit Reblaus. Das ist auch im Graphen, in dem der Parameter im Laufe der Zeit dargestellt ist, ersichtlich. Ab 7. September gehen die Kurven der Behandlungen auseinander. Der Graph korreliert mit dem der PAR Werte. Der Ausreißer am 9. September der Variante 50% Trockenstress mit Reblaus ist hier auch sehr unsicher, aufgrund der hohen Streubreite.

Die Literatur enthält Ergebnisse, die diese Resultate untermauern. Es bestanden keine Unterschiede zwischen den Trockenstressbehandlungen beim ETR Wert bei Flexas et al. (1998).

Die effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II ist bei allen drei Pflanzenvarianten in etwa gleich. Die Literatur zeigt hier, dass im Falle von Trockenstress dieser Wert unter den Schwellenwert von 0,7 fällt (Zulini et al., 2007). Dieser Parameter fällt auch unter 0,7, sobald die Trockenstressphase eingeleitet wird. Am 7.9. und am 9.9. weist die Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und 50% bzw. 75% Trockenstressvariante auf. Am 5.9. und am 14.9. ist ein signifikanter Unterschied bei der Unterlage 1103 Paulsen zwischen Kontrolle bzw. 50% Trockenstress und 25% bzw. 75% Trockenstress. Diese Ergebnisse der beiden Unterlagen sind schon eindeutiger, da sie während einer relativ langen Zeit auftreten.

Mit dem LCpro – SD wurden die Parameter E, gs und A gemessen und in den Ergebnissen dargestellt.

Bei der Unterlagsrebe 1103 Paulsen resultierte an nur einem Tag, den 12. September, ein signifikanter Unterschied bei der Transpirationsrate zwischen den Behandlungen 75% Trockenstress und der Kontrolle. Leider kommt dieser Trend nach diesem Tag nicht mehr vor. Bei den anderen beiden Unterlagen weist kein Messtag einen signifikanten Unterschied beim Parameter E auf.

Bei näherer Betrachtung des Graphen für 1103 Paulsen fällt auf, dass die 75% Trockenstressvariante im Laufe der Zeit sinkt und die Kontrolle und die 50% Variante steigen nach dem 9. September an. Hier ist aber wieder die Standardabweichung sehr hoch. Die Literatur liefert ähnliche Ergebnisse, wobei die trockengestressten Pflanzen auch niedrigere Werte aufweisen (Galbignani et al., 2016).

Der Graph des Parameters E von 140 Ruggeri 4 Gm korreliert mit dem der 1103 Paulsen. Auch hier ist ein Anstieg nach dem 9. September ersichtlich.

Die Werte der Teleki 5C 6 – 52 Gm weisen keine klare Differenzierung zwischen den Behandlungen auf. Die Literatur besagt, dass es hingegen eine deutliche Differenzierung geben sollte.

Der gs Wert war am 12. September bei 1103 Paulsen und am 31. August bei Teleki 5C 6 – 52 Gm signifikant unterschiedlich. Bei ersterer Unterlage unterscheiden sich die Behandlungen 50% und 75% Trockenstress von der Kontrolle und bei der Teleki 5C vor allem 50% Trockenstress mit und ohne Reblaus sowie 75% Trockenstress mit Reblaus.

Wenn man die Veränderung des Wertes gs im Lauf der Zeit betrachtet, fällt auf, dass bei 1103 Paulsen die 75% Trockenstressbehandlung am stärksten im Vergleich zu den übrigen Varianten abnimmt. Jedoch nehmen bei der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm die beiden Kurven von 0% und 75% Trockenstress ab. Bei der Teleki 5C 6 – 52 Gm ist kein deutlicher Unterschied zwischen den Varianten zu erkennen, der aussagekräftig ist, jedoch dass die beiden 75% Trockenstressbehandlungen unterhalb der anderen Varianten sind. Die Literatur hingegen untermauert die These, dass die stomatäre Leitfähigkeit bei trockengestressten Weinreben unterhalb der nicht gestressten liegt (Flexas et al., 1998).

Bei Betrachtung des Graphen für gs bei 140 Ruggeri 4 Gm ist erkennbar, dass, im Vergleich zu den beiden anderen Unterlagsreben, die Behandlungen mehr oder weniger stark voneinander abweichen. In der Literatur findet sich ein Ergebnis, dass die gs Werte der 140 Ruggeri 4 Gm höhere Differenzen und allgemein höher sind, als die anderer Unterlagen (etwa SO4) (Tramontini et al., 2013).

Der Parameter A weist lediglich bei der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm einen signifikanten Unterschied am 9. September auf. Hier unterscheidet sich nur die Behandlung mit 50% Trockenstress von der Kontrolle.

Bei der Unterlagsrebe 140 Ruggeri 4 Gm zeigt sich ein deutlicher Abwärtstrend bei der Kontrolle, ansonsten steigen die Wert an, auch bei der 1103 Paulsen. Lediglich bei der Unterlage Teleki 5C 6 – 52 Gm zeigt sich kein eindeutiger Unterschied zwischen den Behandlungen, jedoch bewegen sich die 75% Trockenstressbehandlungen wieder im unteren Bereich. Das Gegenteil liefert die Literatur. Der Parameter A sollte, so wie gs und E, bei trockengestressten Pflanzen abnehmen und nicht steigen.

Die Werte für A in trockengestressten Reben waren höher als bei normal bewässerten Pflanzen in anderen Versuchen. Wenn dieser Wert abfällt, dann könnte das dazu führen, dass andere Prozesse, die ebenfalls viele Elektronen benötigen, bevorteilt werden, da die Photosyntheserate sinkt (Flexas et al., 1998), (Merli et al., 2015).

Allerdings gibt es auch Untersuchungen, die zeigen, dass alle Gasaustauschparameter (E, gs, A) bei Trockenstress zu sinken beginnen (Merli et al., 2015).

Die trockenstresstoleranteste Unterlagsrebe in diesem Versuch ist die 140 Ruggeri 4Gm, da ihre Messwerte am geringsten von der Kontrollvariante abweichen. Die anderen beiden Unterlagen bilden hohe Unterschiede aus. Dies beweist auch die Sortenbeschreibung (siehe Anhang).

Die drei Pflanzen im Kalibrierungsversuch weisen ziemlich ähnliche Kurvenverläufe bei der Transpirationsrate auf. Lediglich der veredelte Müller-Thurgau verändert den Kurvenverlauf Anfang September und die reblausbefallenen Pflanzen liegen unterhalb. Im Vergleich zum Trockenstressversuch, wo es auch keinen eindeutigen Trend nach oben oder unten gibt, haben diese Versuchspflanzen jedoch einen Höhepunkt und fallen danach ab.

Die Kurven der Kober 5BB und Müller-Thurgau wurzelecht mit Reblaus ähneln der Kurve bei der veredelten Variante ohne Reblaus beim Parameter g_s , d.h. die veredelte Variante gleicht das mit der Unterlage aus. Bei näherer Betrachtung der Trockenstressdiagramme zum Vergleich, erkennt man, dass dort kein eindeutiger Trend vorliegt, der sich hier auch wiederum bestätigt.

Bei der Photosyntheserate gibt es wieder einen leichten Anstieg bei allen drei Pflanzenvarianten und Behandlungen, jedoch kreuzen die zwei Kurven der veredelten Müller-Thurgau einander zweimal. Im Endeffekt befinden sich die phylloxerierten Pflanzen wieder unterhalb der nicht reblausbefallenen. Im Kontrast dazu sind die Werte im Trockenstressversuch der reblausbefallenen Teleki 5C 6 - 52Gm unterhalb jener nicht befallenen angesiedelt. Dieses Ergebnis bestätigt das im Kalibrierungsversuch nicht.

Der PAR Wert ist bei der wurzelechten Müller-Thurgau Variante gleich und bei der veredelten Variante liegen die Werte der reblausbefallenen Pflanzen unterhalb jener nicht befallener. Den interessantesten Graphen liefert die Unterlagsrebe Kober 5BB, da an zwei Messterminen die Werte der beiden Behandlungen voneinander deutlich abweichen, dabei liegen wieder die reblausbefallenen Pflanzen unterhalb. Die Literatur untermauert dieses Ergebnis, dass manche PAR Werte nicht voneinander abweichen (Galbignani et al., 2016).

Allgemein unterscheiden sich die Behandlungen wenig bis gar nicht voneinander in Anbetracht der beiden Parameter F_0' und F_m' . Dies ist auch beim Vergleich dazu im Trockenstressversuch der Fall und die Literatur besagt ebenfalls, dass es kaum Unterschiede zwischen den Behandlungen gibt (Zulini et al.).

Bei der Elektronentransferrate bilden alle phylloxerierten Pflanzen die unteren Werte. Ansonsten gibt es bei jeder Versuchspflanze einen deutlichen Abwärtstrend im Laufe des Versuchszeitraumes. Wie auch beim Versuch Trockenstress weist der wurzelechte Müller-Thurgau keine Unterschiede zwischen den Behandlungen auf, was die Literatur auch besagt (Flexas et al., 1998). Jedoch ist bei der Unterlage Kober 5BB und bei der veredelten Variante ein recht deutlicher Unterschied zwischen reblausbefallenen und nicht befallenen Pflanzen erkennbar, was ein Gegenargument für die Literatur liefert.

Sink – Source Verteilung

In dieser Arbeit wurde die Sink – Source Verteilung an zwei Pflanzenorganen, den Blättern und den Wurzeln, festgestellt. Nach Trocknung ebendieser im Trockenschrank wurde das Gewicht ermittelt und im Falle der Blätter dieses auf das durchschnittliche Einzelblattgewicht umgerechnet.

Bei der Unterlage 1103 Paulsen korrelieren die Werte vom Blatt- mit dem Wurzelgewicht. Es besteht also kein Unterschied in der Sink – Verteilung, außer bei der Behandlung mit 25% Trockenstress gibt es einen kleinen Überhang zum Blattgewicht. Lediglich die Blattgewichte der 25% und 75% Trockenstressvarianten unterschieden sich von der Kontrolle signifikant. Beim Wurzelgewicht ergeben sich signifikante Unterschiede bei den Varianten 0% bzw. 50% und 25% und 75%.

Bei der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm ist ein ähnliches Ergebnis ersichtlich. Die Variante mit 50% Trockenstress hat ebenfalls einen leichten Überhang zum Blattgewicht. Ansonsten ist kein Unterschied in der Sink – Verteilung erkennbar. Signifikante Unterschiede treten bei dieser Unterlagsrebe nicht auf.

Zuletzt gab es keine signifikanten Unterschiede bei den Einzelblattgewichten bei der Unterlage Teleki 5C 6 – 52 Gm. Jedoch kamen bei den Wurzelgewichten bei den Behandlungen 50% Trockenstress ohne Reblaus sowie 75% mit Reblaus und der Kontrolle signifikante Unterschiede heraus.

Beim Vergleich der Blattgewichte zwischen den beiden Behandlungen mit und ohne Reblaus fällt auf, dass die Werte aller Trockenstressvarianten mit Reblaus unterhalb der Behandlungen ohne Reblaus liegen; lediglich die 0% Trockenstressvariante weist umgekehrte Werte auf. Bei den Wurzelgewichten sind die Gewichte der Kontrolle bemerkenswert, da die beiden Behandlungen sich nicht unterscheiden. Die Werte der Behandlungen mit Reblaus bei Treatment 25% und 50% Trockenstress liegen über denen ohne Reblaus. Nur die Behandlung 75% Trockenstress mit Reblaus ist unter den Werten der Behandlung ohne Reblaus. In der Literatur findet sich kein derartiger Vergleich von Trockengewichten von der Blattmasse bzw. der Wurzelmasse, daher ist eine Untermauerung dieser Ergebnisse kaum möglich.

Im Vergleich dazu zeigt der Kalibrierungsversuch bei den veredelten Müller-Thurgau Reben einen Überhang zu den Blättern recht deutlich. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Reblaus bei der Unterlage Kober 5BB doch eine kräftige Sink - Wirkung auf das Wurzelsystem ausübt. Diese Erkenntnis bestätigt das Ergebnis des Trockenstressversuches, in dem bei der Teleki 5C 6 – 52 Gm ebenfalls das Wurzelgewicht bei zunehmendem Trockenstress und Reblausbefall steigt.

In Powell et al. (2013) ist eine Tabelle ersichtlich, in der verschiedene Verfahren sowie deren Stärken und Schwächen zur Erforschung der Rebe – Reblaus Interaktion dargestellt sind. In der vorliegenden Arbeit wurde nur mit getopften Reben gearbeitet, daher beschränkt sich folgende Ansicht nur auf Topfreben. Die Schwächen dieser Art von Untersuchung liegen beim beschränkten Raum für die Wurzeln, was eine höhere Anzahl an Faserwurzeln bedeutet. Im Gegensatz dazu liegen die Stärken bei der besseren Möglichkeit der Etablierung von Nodositäten und Tuberositäten, der kontrollierbaren Umgebung, wie etwa Bewässerung, Beleuchtung oder die Temperatur. Des Weiteren besteht die Möglichkeit einer verkürzten Versuchszeit im Gegensatz zu Freilandversuchen, die Auswahl des Pflanzsubstrates sowie die Möglichkeit den Einfluss bodenbürtiger Pathogene zu entfernen. Man muss bei Versuchen im Glashaus dennoch beachten, dass die Bedingungen, die im Topf herrschen, beispielsweise die Temperatur, die Luftdurchlässigkeit oder die Feuchtigkeit der Erde Einfluss auf das Wurzelwachstum und später auch auf das Wachstum der Reblauspopulation haben (Powell et al., 2013). Interessant dabei sind die Temperaturgrenzen, die sich bei der niedrigsten bei etwa 18°C und der höchsten bei etwa 28°C bewegen, die nötig sind, um die Gallenbildung zu induzieren (Granett et al., 2001). Diese waren im Glashaus gegeben und können als Störfaktoren der nicht erfolgreichen Inokulationen ausgeschlossen werden.

Verbesserungsvorschläge

Wie Keller (2010b) schreibt, dass bei regelmäßig bewässerten Topfreben das Substrat einen höheren Wasseranteil hat als der Boden im Weingarten und die Feuchtigkeit auch von der Höhe des Topfes abhängt, leiden die Topfreben viel eher unter Wasserstress als an Trockenstress.

Der Trockenstress wurde mit dem Gewicht des Wassers, das im Topf bzw. im Substrat enthalten ist, berechnet (siehe Material und Methoden). Dieses Verfahren ist im Prinzip nicht sehr genau, was den Trockenstress, den die Rebe erleben soll, angeht. Ein Verbesserungsvorschlag ist, wie es Merli et al. (2015) schreibt, die tägliche Transpirationsrate festzustellen, zwei- bis dreimal, und anhand dieser die Wasserzufuhr zu berechnen und einzustellen.

Wasserstress bzw. Trockenstress in getopften Reben entwickelt sich oftmals zu schnell, was sich auf die Messergebnisse schlecht auswirkt, da die Aussagekraft dann abnimmt (Flexas et al., 1998). Der Aufbau sollte in einer Quarantänekabine erfolgen, wo, durch eine Trennwand getrennt, befallene und nicht befallene Pflanzen ohne Quarantänesack stehen und wachsen können. Die Triebe sollten gewipfelt werden, da sonst die Triebspitzen lange Zeit Sink – Organe bleiben.

Ein einjähriger bzw. zweiwöchiger Stressversuch unter künstlichen Bedingungen ist nur bedingt aussagekräftig. Für Winzer und Traubenproduzenten können nur aus einer großen Menge an Ergebnissen Empfehlungen abgegeben werden und daher sind weitere langjährige Trockenstressversuche mit Rebläusen erforderlich.

6. Zusammenfassung

Es wurden drei verschiedene Unterlagsreben, 1103 Paulsen (40 Stück), 140 Ruggeri 4 Gm (20 Stück) und Teleki 5C 6 – 52 Gm (40 Stück) in einem Glashaus unter Trockenstress bzw. Reblausbefall versetzt. Insgesamt gab es 100 Pflanzen und drei unterschiedliche Stresslevels zu 25%, 50% und 75% Trockenstress sowie die Kontrollvariante. Bei der Unterlage 140 Ruggeri 4 Gm wurde auf die 25% Variante aus Pflanzenmangel verzichtet. In diesem Versuch hat die Inokulation der beiden Unterlagsreben 1103 Paulsen und 140 Ruggeri 4 Gm nicht funktioniert, wobei bei diesen ein Trockenstressversuch ohne Reblaus resultiert.

Unterlagsreben gelten heute wie damals als effektive Gegenmaßnahme gegen die Reblaus. Um dem voranschreitenden Klimawandel und damit einhergehendem Wassermangel sowie höheren CO₂ - Konzentrationen in der Atmosphäre gerecht zu werden, müssen die derzeitigen Unterlagen auf Trockenstress geprüft bzw. ihre Reaktionen darauf erhoben und analysiert werden.

Zur Analyse und Auswertung des Glashausversuches wurde der Gasaustausch mit dem LCpro – SD und die Photosyntheseleistung mit dem PAM – 2500 gemessen. Die Messungen des Gasaustausches fanden im zwei Wochen Rhythmus vor dem Stress und während des Trockenstress im ein Wochen Rhythmus statt. Das PAM – 2500 hingegen wurde jeden zweiten Tag verwendet. Die Trockengewichte der Blätter und Wurzeln wurden nach einer Trocknungsphase im Trockenschrank ermittelt.

Die Ergebnisse zeigen beim vorletzten Parameter des PAM – 2500, die ETR, dass keine Aussagekraft hinsichtlich einer Stressreaktion besteht, da es kaum klar ersichtliche Unterschiede zwischen den Varianten gibt, was die Literatur bestätigt. Der letzte analysierte Parameter, die Y(II), zeigt, dass auch hier kaum Unterschiede auftreten, da die Kurvenverläufe nahezu ident sind. Der Parameter A vom LCpro – SD steigt in dieser Untersuchung an, dieser sollte jedoch laut Literatur unter Stressbedingungen abfallen. Dies liefert abermals kein Indiz für eine geeignete Stressreaktion.

Es ist wenig Literatur zur Source – Sink Translokation in Bezug auf Trockengewichtsanalysen vorhanden. Die vorliegenden Ergebnisse beweisen jedoch, dass die Reblaus nicht wie angenommen das Wurzelgewicht erhöht durch ihre Sink – Wirkung, jedoch aber geringfügig die Blattmasse. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Rebe die Photosynthese versucht zu erhöhen und dadurch die Blattmasse anwächst. Bei der Teleki 5C 6 – 52 Gm 75% Trockenstressvariante ohne Reblaus zeigt sich eine deutliche Kompensation des Stresses durch eine erhöhte Blatt- bzw. Wurzelmasse.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Reblaus, die Photosynthese und den Gasaustausch der Rebe weder positiv noch negativ beeinflusst. Durch zunehmenden Trockenstress in den Weingärten muss individuell das Hauptaugenmerk auf die Eigenschaften des Weingartenbodens bzw. der Lage gelegt und individuelle Maßnahmen (Einsatz von Bewässerung, Bodenmanagement, ...) werden.

7. Abstract

Das Ziel dieser Masterarbeit war es herauszufinden, wie sich der Reblausbefall auf die Vitalität der Weinrebe auswirkt. Die Reblaus beeinflusst das Wurzelwachstum durch Etablierung einer Blatt- oder Wurzelgalle als Sinkorgan. Effekte trockengestresster Reben auf den phylloxerierten Pflanzenmetabolismus sind nicht geklärt.

Einaugenstecklinge dreier verschiedener Unterlagsreben wurden im Glashaus in Kunststofftöpfen gepflanzt. Der Versuch war derart aufgebaut, dass gleich viele Pflanzen mit und ohne Trockenstress vorhanden waren, wobei 60% der Reben mit Reblauseiern inokuliert wurden. Die Messparameter waren u.a. die Photosyntheserate, die stomatäre Leitfähigkeit und die Transpirationsrate.

Die Resultate zeigten geringe Unterschiede in reblausinfizierten vs. nicht-reblausinfizierten Reben bei der Rebsorte Teleki 5C in Bezug auf Trockenstress. Der Versuch unterlag zahlreichen technischen Herausforderungen, die die Interpretation der Ergebnisse erschwerten.

Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um den Pflanzenmetabolismus trockengestresster und phylloxerierter Reben zu untersuchen.

The aim of this master thesis was to find out how phylloxera affects the physiological parameters of the grape vine. The phylloxera affects root growth by establishing a leaf or root gall as a sink organ. Effects of drought-stressed vines on the phylloxerated plant metabolism have not been clarified yet.

Dormant cuttings of three different vines were planted in plastic pots in the greenhouse. The experiment was designed in such a way that the same number of plants with and without drought-stress and phylloxera were present. The measurement parameters were among other things the photosynthesis rate, the stomatal conductivity and the rate of transpiration. The experiment was challenged by technical difficulties and accordingly results showed minor differences in phylloxerated vs. non-phylloxerated vines of Teleki 5C in relation to drought-stress.

Further research is needed to analyze the plant metabolism in regard to drought-stressed and phylloxerated vines.

Keywords: Trockenstress, LCpro – SD, PAM – 2500, Gasaustausch, Photosynthese

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Lebenszyklus der Reblaus (Forneck et al. 1999).....	9
Abbildung 2 Beziehung zwischen stomäterer Leitfähigkeit und Transpiration bzw. Photosynthese (Keller 2010)	12
Abbildung 3 Temperaturverlauf im Glashaus.....	19
Abbildung 4 Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit im Glashaus.....	20
Abbildung 5 Versuchspflanzen, links nach dem Topfen, rechts während des Wachstums.....	21
Abbildung 6 Reblausblattgallen aus Göttlesbrunn, Niederösterreich.....	23
Abbildung 7 reblausbefallene Wurzeln links, nicht befallene Wurzeln rechts	27
Abbildung 8 relative Elektronentransferrate 1103 Paulsen	29
Abbildung 9 Elektronentransportrate 140 Ruggeri 4 Gm	30
Abbildung 10 Elektronentransportrate Teleki 5C 6 - 52 Gm	30
Abbildung 11 effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II 1103 Paulsen.....	31
Abbildung 12 effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II 140 Ruggeri 4 Gm	31
Abbildung 13 effektive photochemische Quantenausbeute des Photosystems II Teleki 5C 6 - 52 Gm	32
Abbildung 14 Transpirationsrate 1103 Paulsen	34
Abbildung 15 Transpirationsrate 140 Ruggeri 4 Gm.....	34
Abbildung 16 Transpirationsrate Teleki 5C 6 - 52 Gm.....	35
Abbildung 17 stomatäre Leitfähigkeit 1103 Paulsen.....	35
Abbildung 18 stomatäre Leitfähigkeit 140 Ruggeri 4 Gm	36
Abbildung 19 stomatäre Leitfähigkeit Teleki 5C 6 - 52 Gm.....	36
Abbildung 20 Photosyntheserate 1103 Paulsen.....	37
Abbildung 21 Photosyntheserate 140 Ruggeri 4 Gm.....	37
Abbildung 22 Photosyntheserate Teleki 5C 6 - 52 Gm.....	38
Abbildung 23 Einzelblattgewicht trocken 1103 Paulsen	40
Abbildung 24 Wurzelgewicht trocken 1103 Paulsen.....	41
Abbildung 25 Einzelblattgewicht trocken 140 Ruggeri 4 Gm	41
Abbildung 26 Wurzelgewicht trocken 140 Ruggeri 4 Gm	42
Abbildung 27 Einzelblattgewicht trocken Teleki 5C 6 - 52 Gm	42
Abbildung 28 Wurzelgewicht trocken Teleki 5C 6 - 52 Gm.....	43
Abbildung 29 Blattgewicht trocken Vergleich Teleki 5C 6 - 52 Gm.....	43
Abbildung 30 Wurzelgewicht trocken Vergleich Teleki 5C 6 - 52 Gm.....	44

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Nährstoffgehalte der Bewässerung.....	21
Tabelle 2 Messtermine Trockenstress.....	25
Tabelle 3 Unterschiede in der Photosyntheseleistung zwischen den Parametern....	33
Tabelle 4 Unterschiede im Gasaustausch zwischen den Parametern (signifikante Unterschiede in rot)	39
Tabelle 5 Parameter von PAM - 2500 und LCpro - SD.....	39
Tabelle 6 Treatmentplan und Trockengewichte.....	62

10. Literaturverzeichnis

- Anders, F., 1958, Aminosäuren als gallenerregende Stoffe der ReblausViteus [Phylloxera] vitifolii Shimer: *Experientia*, v. 14, p. 62-63.
- Anonym (2016): Geisenheimer Rebsorten und Klone, 148-149
http://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/Dateien_Hochschule_Geisenheim/Forschung/Angewandte_Biologie/Rebenzuechtung/Unterlagen/1103P.pdf (02.11.2016, 10:20 Uhr).
- Anonym (2016): Geisenheimer Rebsorten und Klone, 128-129
http://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/Dateien_Hochschule_Geisenheim/Forschung/Angewandte_Biologie/Rebenzuechtung/Unterlagen/5C.pdf (02.11.2016, 11:20 Uhr).
- Anonym (2016): Geisenheimer Rebsorten und Klone, 126-127
http://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/Dateien_Hochschule_Geisenheim/Forschung/Angewandte_Biologie/Rebenzuechtung/Unterlagen/5BB.pdf (02.11.2016, 12:00 Uhr).
- Anonym (2016): Geisenheimer Rebsorten und Klone, 28-31
http://www.hs-geisenheim.de/fileadmin/Dateien_Hochschule_Geisenheim/Forschung/Angewandte_Biologie/Rebenzuechtung/Traditionelle_Rebsorten/Mueller-Thurgau.pdf (02.11.2016, 12:20 Uhr).
- Anonym (2016): Chlorophyllfluoreszenz
<http://bfw.ac.at/rz/wlv.lexikon?keywin=355> (18.11.2016, 11:40 Uhr).
- Anonym (2016): Elektronentransportkette
<https://de.wikipedia.org/wiki/Elektronentransportkette> (18.11.2016, 12:00 Uhr).
- Anonym (2016):
http://www.langenachtderforschung.at/index.php?option=com_jumiandfileid=21andItemid=161andgroup_id=6151andpage=stationenandfilter=none (21.11.2016, 11:10 Uhr).
- Blanchfield, A. L., S. A. Robinson, L. J. Renzullo, and K. S. Powell, 2006, Phylloxera-infested grapevines have reduced chlorophyll and increased photoprotective pigment content - can leaf pigment composition aid pest detection?: *Functional Plant Biology*, v. 33, p. 507-514.
- Christmann, A., Weiler, E. W., Steudle, E. and Grill, E., 2007, A hydraulic signal in root-to-shoot signalling of water shortage. *The Plant Journal*, 52, p. 167–174.
- Dry, P. D., 2000, Canopy management for fruitfulness. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6, p. 109–115.
- Farrar, J. F., and D. L. Jones, 2000, The control of carbon acquisition by roots: *New Phytologist*, v. 147, p. 43-53.
- Flexas, J., J. M. Escalona, and H. Medrano, 1998, Down-regulation of photosynthesis by drought under field conditions in grapevine leaves: *Australian Journal of Plant Physiology*, v. 25, p. 893-900.

- Forneck, A., N. C. Lawo, K. Schoedl-Hummel, F. Liebner, T. Zweckmayr, and M. Griesser, 2016, Not just sweet: phylloxerated roots indicate complex plant response mechanisms, p. 239-244.
- Galbignani, M., M. C. Merli, E. Magnanini, F. Bernizzoni, I. Talaverano, M. Gatti, S. Tombesi, A. Palliotti, and S. Poni, 2016, Gas exchange and water-use efficiency of cv. Sangiovese grafted to rootstocks of varying water-deficit tolerance: *Irrigation Science*, v. 34, p. 105-116.
- Granett, J., M. A. Walker, L. Kocsis, and A. D. Omer, 2001, Biology and management of grape phylloxera: *Annual Review of Entomology*, v. 46, p. 387-412.
- Griesser, M., N. C. Lawo, S. Crespo-Martinez, K. Schoedl-Hummel, K. Wieczorek, M. Gorecka, F. Liebner, T. Zweckmair, N. Stralis Pavese, D. Kreil, and A. Forneck, 2015, Phylloxera (*Daktulosphaira vitifoliae* Fitch) alters the carbohydrate metabolism in root galls to allowing the compatible interaction with grapevine (*Vitis* spp.) roots: *Plant Science*, v. 234, p. 38-49.
- Gupta, V., 2001, Aphids on the world's crops. An identification and information guide: *Oriental Insects*, v. 35, p. 104-104.
- Hsiao, T. C., and Xu, L. K., 2000, Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 51, p. 1595–1616.
- Huang, X., Lakso, A. N., and Eissenstat, D. M., 2005, Interactive effects of soil temperature and moisture on Concord grape root respiration. *Journal of Experimental Botany*, 56, p. 2651–2660.
- Iacono, F., A. Buccella, and E. Peterlunger, 1998, Water stress and rootstock influence on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines¹: *Scientia Horticulturae*, v. 75, p. 27-39.
- Keller, M., 2010a, Chapter 5 - Partitioning of Assimilates, *The Science of Grapevines: San Diego*, Academic Press, p. 125-167.
- Keller, M., 2010b, Chapter 7 - Environmental Constraints and Stress Physiology, *The Science of Grapevines: San Diego*, Academic Press, p. 227-310.
- Kellow, A. V., M. Sedgley, and R. Van Heeswijck, 2004, Interaction between *Vitis vinifera* and grape phylloxera: Changes in root tissue during nodosity formation: *Annals of Botany*, v. 93, p. 581-590.
- Kostytschew, S., 1931, Translokation und Verteilung der Nährstoffe in der Pflanze, in S. Kostytschew, ed., *Stoffaufnahme · Stoffwanderung Wachstum und Bewegungen*: Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p. 226-253.
- Koundouras, S., I. T. Tsialtas, E. Zioziou, and N. Nikolaou, 2008, Rootstock effects on the adaptive strategies of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet–Sauvignon) under contrasting water status: Leaf physiological and structural responses: *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 128, p. 86-96.
- Lovisolo, C., I. Perrone, A. Carra, A. Ferrandino, J. Flexas, H. Medrano, and A. Schubert, 2010, Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update: *Functional Plant Biology*, v. 37, p. 98-116.

- Lovisolò, C., and A. Schubert, 1998, Effects of water stress on vessel size and xylem hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L: *Journal of Experimental Botany*, v. 49, p. 693-700.
- Mapfumo, E., Aspinall, D., and Hancock, T. W., 1994, Growth and development of roots of grapevine (*Vitis vinifera* L.) in relation to water uptake from soil. *Annals of Botany*, 74, p. 75–85.
- Merli, M. C., M. Gatti, M. Galbignani, F. Bernizzoni, E. Magnanini, and S. Poni, 2015, Water use efficiency in Sangiovese grapes (*Vitis vinifera* L.) subjected to water stress before veraison: different levels of assessment lead to different conclusions: *Functional Plant Biology*, v. 42, p. 198-208.
- Nabity, P. D., M. J. Haus, M. R. Berenbaum, and E. H. DeLucia, 2013, Leaf-galling phylloxera on grapes reprograms host metabolism and morphology: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 110, p. 16663-16668.
- Passioura, J. B., 2006, The perils of pot experiments. *Functional Plant Biology*, 33, p. 1075–1079.
- Pate, J. S., 1975, Exchange of Solutes between Phloem and Xylem and Circulation in the Whole Plant, in M. H. Zimmermann, and J. A. Milburn, eds., *Transport in Plants I: Phloem Transport*: Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p. 451-473.
- Powell, K. S., P. D. Cooper, and A. Forneck, 2013, Chapter Four - The Biology, Physiology and Host–Plant Interactions of Grape Phylloxera *Daktulosphaera vitifoliae*, in I. H. a. T. C. J. T. Scott N. Johnson, ed., *Advances in Insect Physiology*, v. Volume 45, Academic Press, p. 159-218.
- Ryan, F. J., A. D. Omer, L. H. Aung, and J. Granett, 2000, Effects of infestation by grape phylloxera on sugars, free amino acids, and starch of grapevine roots: *Vitis*, v. 39, p. 175-176.
- Serra, I., A. Strever, P. A. Myburgh, and A. Deloire, 2014, Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine: *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v. 20, p. 1-14.
- Soar, C. J., J. Speirs, S. M. Maffei, A. B. Penrose, M. G. McCarthy, and B. R. Loveys, 2006, Grape vine varieties Shiraz and Grenache differ in their stomatal response to VPD: apparent links with ABA physiology and gene expression in leaf tissue: *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v. 12, p. 2-12.
- Steffan, H. and Rilling, G., 1981, The effects of phylloxera leaf and root galls on the pattern of assimilate distribution in grapevine (*Dactylosphaera vitifolii* Shimer on *Vitis rupestris* 187 G.). *Vitis*, Issue 20, p. 146-155.
- Stoll, M., Loveys, B., and Dry, P., 2000, Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 51, p. 1627–1634.
- Tramontini, S., Vitali, M., Centioni L., Schubert, A. and Lovisolò, C., 2013, Rootstock control of scion response to water stress in grapevine: *Environmental and Experimental Botany*, v. 93, p. 20-26.

- Tsegay, D., D. Amsalem, M. Almeida, and M. Crandles, 2014, Responses of grapevine rootstocks to drought stress: *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, v. 6, p. 1-6.
- Wieczorek, K., Hensler, S. and Forneck, A. 2014, Displaying sink-source flux in phylloxerated grapevines by microscopic techniques, p. 29-32.
- Wilkinson, S., 1999, PH as a stress signal: *Plant Growth Regulation*, v. 29, p. 87-99.
- Williams, L. E., Dokoozlian, N. K., and Wample, R., 1994, Grape. In B. Schaffer and P. C. Andersen (Eds.), *Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops*. Vol. I. Temperate Crops, Boca Raton, FL: CRC Press, p. 85–133.
- Zulini, L., M. Rubinigg, R. Zorer, and M. Bertamini, Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence and photosynthetic pigments in grapevine leaves (*Vitis vinifera* cv.'White Riesling'), p. 289-294.

11. Anhang

11.1 Sortenbeschreibung

11.1.1 1103 Paulsen

Diese Unterlagsrebe wurde von Federico Paulsen im Jahr 1896 in Palermo auf Sizilien gekreuzt. Die Kreuzungspartner sind in diesem Fall *Vitis berlandieri Résséguier N°2* x *Vitis rupestris du Lot* und sie findet vorwiegend Verwendung in den Weinanbaugebieten Nordafrikas und im Mittelmeerraum.

Die Paulsen 1103 hat starke bis sehr starke Wuchseigenschaften und ist salz- bzw. kalktolerant (Aktivkalktoleranz ~18%). Trockenheit toleriert sie, jedoch zeigen sich schnell Chlorosen bei Staunässe. Ihr Vegetationszyklus ist im Vergleich zu anderen Unterlagen lang und dies ist nicht förderlich für die Holz- bzw. Fruchtreife. Bewurzelung und Veredlungsaffinität, die Verträglichkeit von Unterlage und Edelreis in Bezug auf die Verwachsung der Veredlungspartner, sind als sehr gut einzustufen (Geisenheimer Rebsorten und Klone, 2016).

11.1.2 140 Ruggeri 4 Gm

Antonio Ruggeri züchtete die Ruggeri 140 ebenfalls in Palermo im Jahr 1896. Sie ist eine Kreuzung aus *Vitis berlandieri Résséguier N°2* x *Vitis rupestris du Lot*.

Diese Unterlage führt, wie die zuvor genannte Paulsen 1103, zu Reifeverzögerung bei Frucht und Holz und zu starken Wuchseigenschaften des Edelreises. Für den vorliegenden Versuch hat sie jedoch gute Eigenschaften, was die Trockenheitstoleranz betrifft. Sie ist ebenfalls sehr gut salzverträglich und besitzt eine ca. doppelt so hohe Aktivkalktoleranz (~30%) wie die Paulsen 1103. Das Wurzelwachstum ist als stark zu klassifizieren (Geisenheimer Rebsorten und Klone, 2016).

11.1.3 Teleki 5C 6 – 52 Gm

Im Jahr 1922 selektionierte Alexander Teleki den Typ 5C aus der Typengruppe 5A, den Sigmund Teleki in Villany, Ungarn, aus Samen aus Frankreich selektionierte. In Geisenheim wurde in den 1930er Jahren u.a. der im Versuch verwendete Klon Teleki 5C 6Gm selektioniert und in den 1960ern wurden daraus Subklone untersucht und geprüft.

Diese Unterlage findet heute in Deutschland häufig Verwendung, sowie teilweise in Kalifornien und Australien. In der Aktivkalktoleranz liegt sie nahe der Paulsen 1103 mit ~17%, jedoch zeigt sie Chlorosesymptome auf staunassen und verdichteten Böden. Die Veredlungsaffinität ist sehr gut zu allen Sorten und sie besitzt eine starke

Wuchskraft. Im Gegensatz zu den beiden bereits zuvor genannten Unterlagen fördert die Teleki 5C die Holz- und Fruchtreife, die Bewurzelung ist gut (Geisenheimer Rebsorten und Klone, 2016).

11.2 Rezept rooting medium

0,0537 M NAA; 0,05068 M IBA (beides in Pulverform)

NaOH 1M

32% NaOH > 10,791 mol/L > 10,8 mol/L

1M: 10,8 mol/L * x = 1 mol/L * 15mL

x = 15/10,8 mL x = 1,4mL in 13,16mL H₂O

Stock solution IBA

100mg IBA in 1mL NaOH (1M) + 49mL dest. H₂O = 0,09841 M IBA

Stock solution NAA

100mg NAA in 1mL NaOH (1M) + 49mL dest. H₂O = 0,10741 M NAA

Im Kühlschrank lichtgeschützt gelagert

IBA :: 0,05068 M

x*2 = 0,05068 M * 50mL

x = 25,75mL stock IBA

NAA 0,0537 M

x*2 = 0,0537 M * 50mL

x = 16,6 mL stock NAA

50mL rooting medium solution

25,75mL + 16,5mL = 42,25mL

50mL – 42,25mL = 7,75mL dest. H₂O

11.3 Substratmischung

Der Hersteller gibt die Art und Herkunft der Ausgangsstoffe wie folgt an: 85% organisches Bodenmaterial (Hochmoortorf, mäßig zersetzt (H3-H5)), Ton, kohlenaurer Kalk, mineralischer NPK – Dünger und Netzmittel.

Der pH-Wert (CaCl₂) wird mit 5,3 – 6,3 angegeben und der Salzgehalt (KCl) mit <1,5g/L. Der Düngemittelzusatz mit Stickstoff (N) (CaCl₂) ist mit 50 – 300mg/L, das Phosphat (P₂O₅) (CAL) mit 80 – 300 mg/L und das Kalium (K₂O) (CAL) mit 80 – 400mg/L deklariert.

Das Substrat wurde mit 5% Quarzsand vermengt. Der Quarzsand stammt von Quarzwerke Österreich GmbH und ist feuergetrocknet bzw. weist eine Körnung von 0,5 – 2mm auf. Dieser wurde hinzugegeben, da er den Boden lockert und die Wasserdurchlässigkeit bzw. die Belüftung fördert.

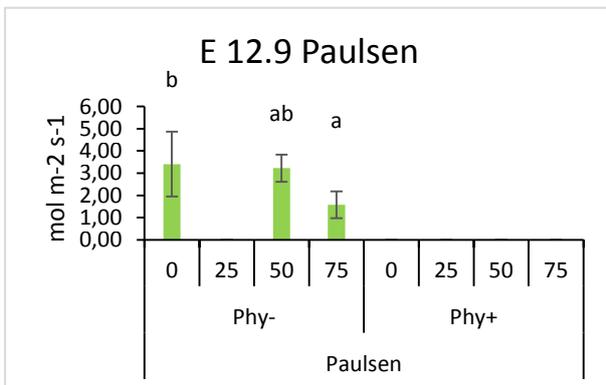
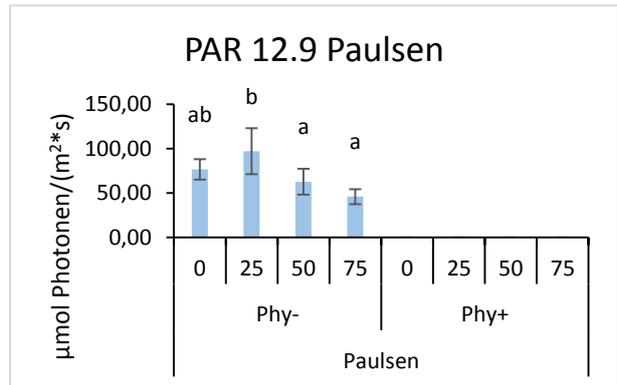
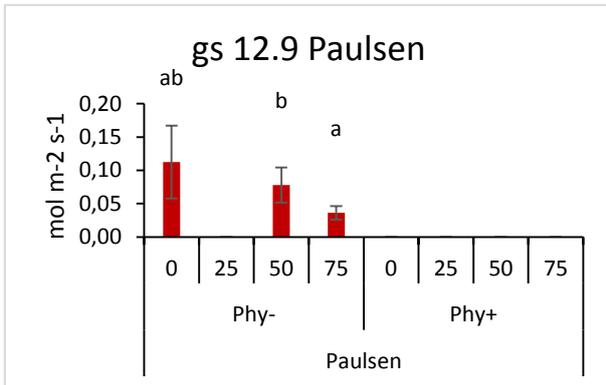
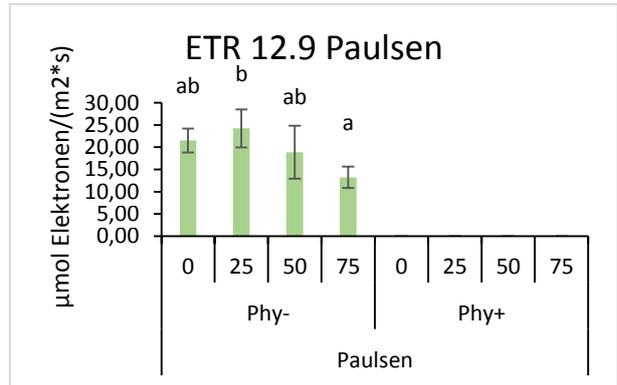
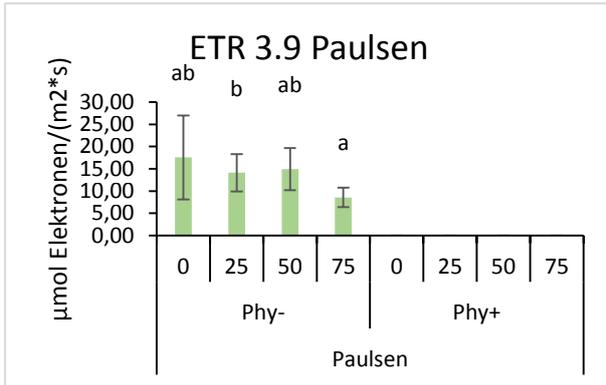
Tabelle 6 Treatmentplan und Trockengewichte

Nummer	Unterlage	Trockenstress (%)	Befall	Einzelblattgewicht, trocken (g)	Wurzelgewicht, trocken (g)
1	1103 Paulsen	0		0,329	4,763
2	1103 Paulsen	0		0,287	9,503
3	1103 Paulsen	0		0,206	3,208
4	1103 Paulsen	0		0,431	12,447
5	1103 Paulsen	0		0,318	3,794
6	1103 Paulsen	0		0,291	4,17
7	1103 Paulsen	25		0,189	0,789
8	1103 Paulsen	25		0,679	19,116
9	1103 Paulsen	25		0,229	2,166
10	1103 Paulsen	25		0,357	7,661
11	1103 Paulsen	25		0,142	1,993
12	1103 Paulsen	25		0,094	2,281
13	1103 Paulsen	50		0,175	5,446
14	1103 Paulsen	50		0,197	3,345
15	1103 Paulsen	50		0,338	6,378
16	1103 Paulsen	50		0,262	4,982
17	1103 Paulsen	50		0,197	1,89
18	1103 Paulsen	50		0,378	8,881
19	1103 Paulsen	75		0,244	5,237
20	1103 Paulsen	75		0,203	3,076
21	1103 Paulsen	75		0,352	6,372
22	1103 Paulsen	75		0,257	3,154
23	1103 Paulsen	75		0,17	3,086
24	1103 Paulsen	75		0,207	3,96
25	1103 Paulsen	0		0,162	2,439
26	1103 Paulsen	0		0,319	2,34
27	1103 Paulsen	0		0,349	4,852

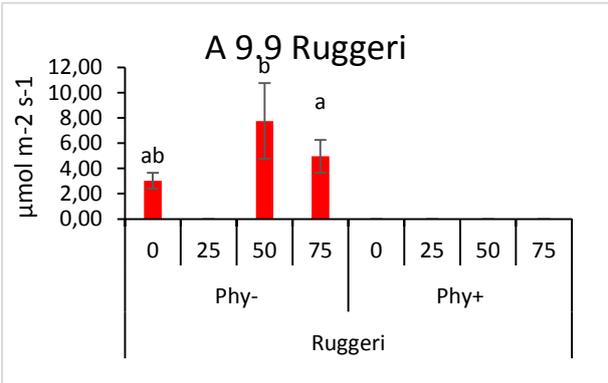
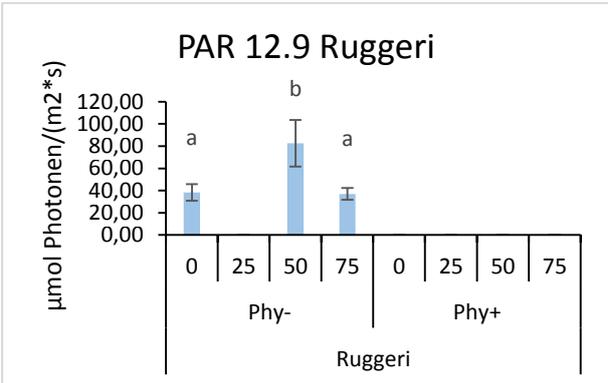
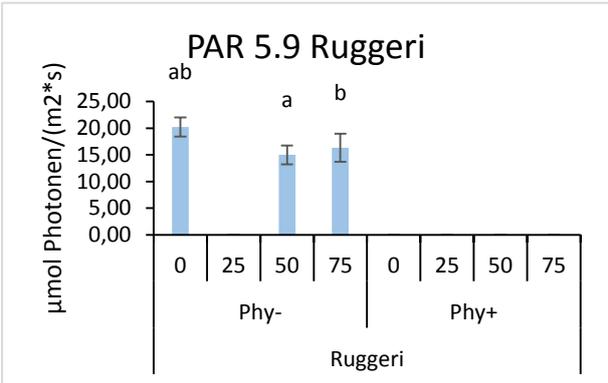
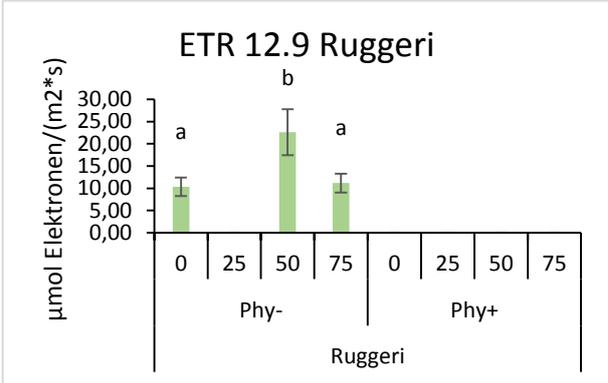
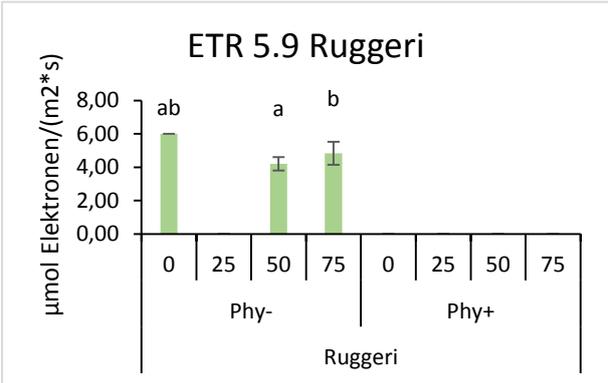
28	1103 Paulsen	0		0,487	6,809
29	1103 Paulsen	25		0,271	1,473
30	1103 Paulsen	25		0,223	3,551
31	1103 Paulsen	25		0,001	1,897
32	1103 Paulsen	25		0,308	4,534
33	1103 Paulsen	50		0,447	12,235
34	1103 Paulsen	50		0,223	3,174
35	1103 Paulsen	50		0,232	5,301
36	1103 Paulsen	50		0,302	4,697
37	1103 Paulsen	75		0,204	2,311
38	1103 Paulsen	75		0,204	3,65
39	1103 Paulsen	75		0,177	2,451
40	1103 Paulsen	75		0,222	3,484
41	Ruggeri 140 4 Gm	0		0,217	2,542
42	Ruggeri 140 4 Gm	0		0,27	3,151
43	Ruggeri 140 4 Gm	0		0,391	4,759
44	Ruggeri 140 4 Gm	0		0,579	13,025
45	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,407	2,855
46	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,299	4,53
47	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,064	-0,25
48	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,321	2,878
49	Ruggeri 140 4 Gm	75		0,062	3,529
50	Ruggeri 140 4 Gm	75		0,157	0,278
51	Ruggeri 140 4 Gm	75		0,441	7,411
52	Ruggeri 140 4 Gm	0		0,278	8,301
53	Ruggeri 140 4 Gm	0		0,583	8,571
54	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,171	0,254
55	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,318	3,888
56	Ruggeri 140 4 Gm	50		0,275	6,309
57	Ruggeri 140 4 Gm	75		1,798	4,685
58	Ruggeri 140 4 Gm	75		0,168	0,615
59	Ruggeri 140 4 Gm	75		0,315	6,473
60	T5C 6 - 52 Gm	0	+	0,435	7,248
61	T5C 6 - 52 Gm	0	+	1,056	6,414
62	T5C 6 - 52 Gm	0	+	0,955	15,34
63	T5C 6 - 52 Gm	0	+	0,741	12,6
64	T5C 6 - 52 Gm	0	+	0,816	12,799
65	T5C 6 - 52 Gm	25	+	0,698	6,342
66	T5C 6 - 52 Gm	25	+	0,542	5,673
67	T5C 6 - 52 Gm	25	+	0,472	16,68
68	T5C 6 - 52 Gm	25	+	0,262	7,937
69	T5C 6 - 52 Gm	50	+	0,663	9,745
70	T5C 6 - 52 Gm	50	+	0,464	15,214
71	T5C 6 - 52 Gm	50	+	0,485	4,674
72	T5C 6 - 52 Gm	50	+	0,56	1,283

73	T5C 6 - 52 Gm	50	+	0,741	6,79
74	T5C 6 - 52 Gm	50	+	0,639	9,565
75	T5C 6 - 52 Gm	75	+	0,403	2,449
76	T5C 6 - 52 Gm	75	+	0,502	7,587
77	T5C 6 - 52 Gm	75	+	0,501	4,99
78	T5C 6 - 52 Gm	75	+	0,51	6,882
79	T5C 6 - 52 Gm	0		0,835	12,268
80	T5C 6 - 52 Gm	0		0,483	8,945
81	T5C 6 - 52 Gm	0		0,465	8,679
82	T5C 6 - 52 Gm	0		0,706	14,808
83	T5C 6 - 52 Gm	25		0,678	2,432
84	T5C 6 - 52 Gm	25		0,646	9,847
85	T5C 6 - 52 Gm	25		1,071	5,347
86	T5C 6 - 52 Gm	25		0,765	13,846
87	T5C 6 - 52 Gm	50		0,442	8,197
88	T5C 6 - 52 Gm	50		0,615	6,981
89	T5C 6 - 52 Gm	50		0,616	0,769
90	T5C 6 - 52 Gm	50		0,876	8,082
91	T5C 6 - 52 Gm	75		0,814	17,578
92	T5C 6 - 52 Gm	75		1,161	10,64
93	T5C 6 - 52 Gm	75		0,767	4,484
94	T5C 6 - 52 Gm	75		0,531	3,788

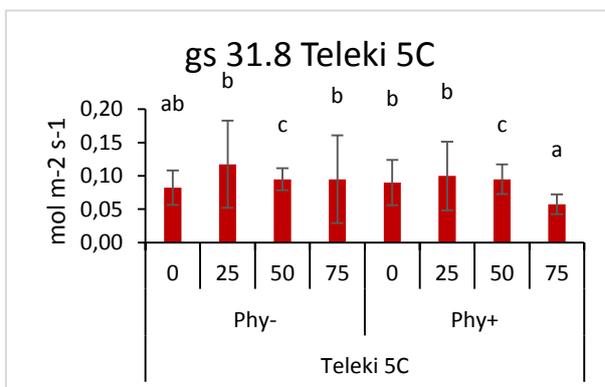
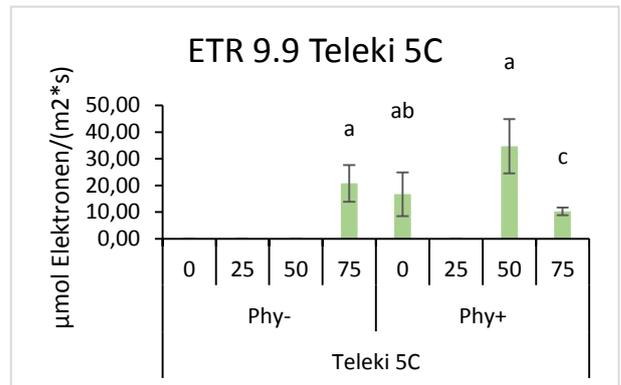
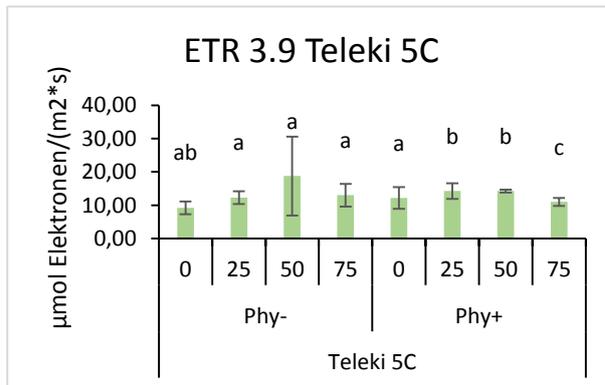
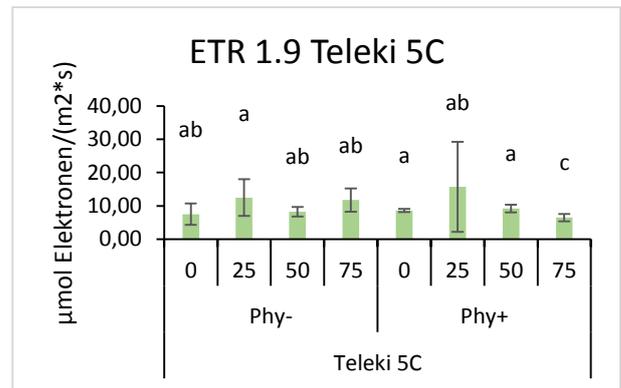
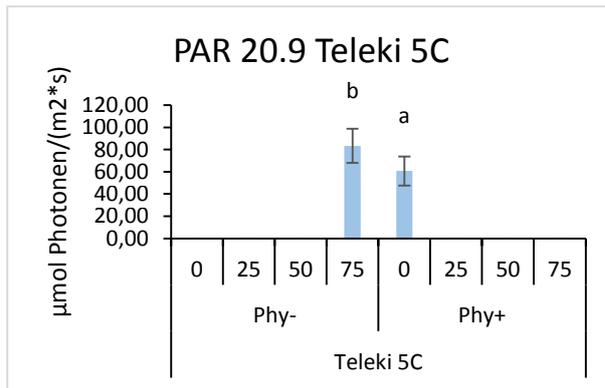
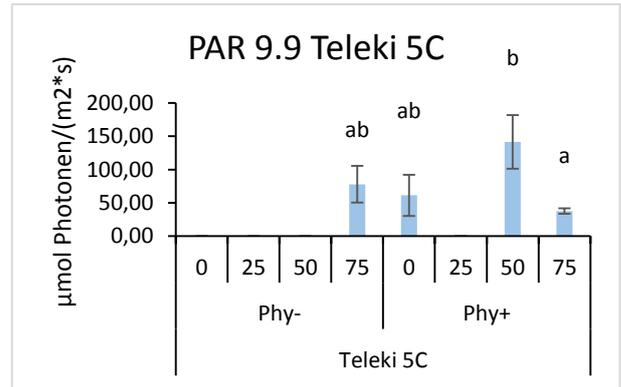
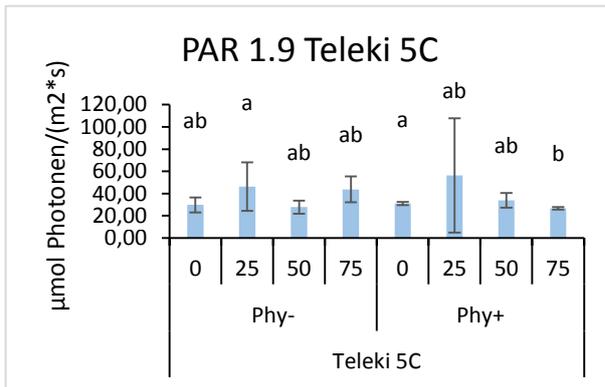
1103 Pausen



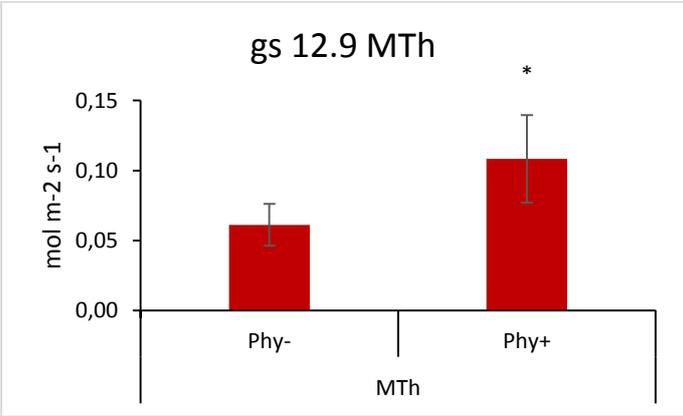
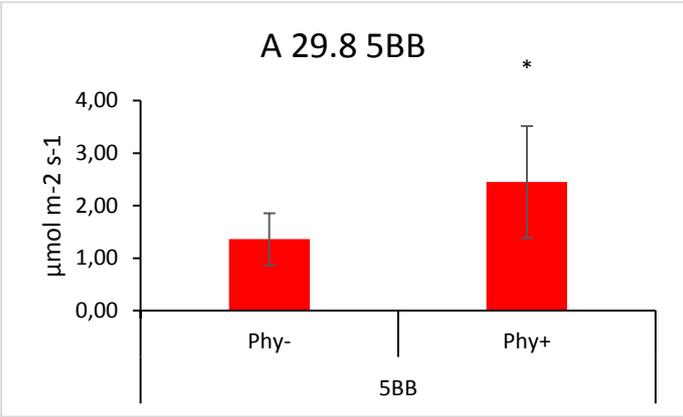
Ruggeri 140 4 Gm



Teleki 5C 6 - 52 Gm



Kalibrierung



Photosyntheseleistung

