



VERSUCHSBERICHT

Einfluss und Wirkungsweise des Blattdüngers AGROSOL auf die Wassernutzungseffizienz landwirtschaftlicher Kulturpflanzen.

Versuch im Auftrag der Firma AGROSolution am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPP) und Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLW) der Universität für Bodenkultur Wien. Verantwortlich für die Versuchsdurchführung und Berichterstellung: Univ. Ass. DI Dr. Gernot Bodner, gernot.bodner@boku.ac.at

1. Problemstellung und Zielsetzung

Der Blattdüngers AGROSOL zeigte nach Berichten des Herstellers auf Praxisflächen und Feldversuchen eine Verbesserung des Wachstumsverhaltens bei verschiedenen Kulturpflanzen. Das verbesserte Wachstumsverhalten soll insbesondere unter Ressourcen limitierten Wachstumsbedingungen wie Trockenstress deutlich hervortreten.

AGROSOL ist ein Pflanzenstärkungsmittel auf mineralischer Basis und besteht nach Auskunft des Herstellers vorwiegend aus fein vermahlenden Karbonaten. Die Hypothese zum Wirkungsmechanismus des Produkts geht davon aus, dass AGROSOL die CO₂-Versorgung der Pflanzen verbessert („CO₂-Düngungseffekt“), indem sich in den Interzellularräumen unter den Spaltöffnungen eine erhöhte CO₂-Sättigung einstellt. Dadurch verschiebt sich der CO₂-Konzentrationsgradient zwischen Blatinnerem und umgebender Atmosphäre. Die Pflanze kann ihre Spaltöffnungsweite somit verringern, um die H₂O Verluste in die Atmosphäre zu reduzieren, während gleichzeitig die CO₂-Versorgung für die Assimilation nicht beeinflusst wird. Damit erhöht sich die intrinsische Wassernutzungseffizienz, die definiert ist als:

$$WUE_i = \frac{A}{T} = \frac{g_c (c_a - c_i)}{g_w (w_i - w_a)} \quad (\text{Gl. 1})$$

wobei A die Assimilation, T die Transpiration, g_c und g_w die jeweiligen stomatären Leitfähigkeiten für CO₂ und Wasserdampf, und c_a, c_i bzw. w_a, w_i die CO₂ und Wasserdampfkonzentrationen in den Interzellularen sowie der Außenluft sind.

Die Wassernutzungseffizienz kann auf drei Ebenen betrachtet werden, auf der Ebene des Einzelblattes (WUE_i, Gl.1), auf der Ebene der Einzelpflanze und auf der Ebene des Bestandes. Auf der Ebene der Einzelpflanze und des Bestandes wird als Bezugsgröße die Pflanzentrockenmasse bzw. auf Bestandesebene häufig auch die Trockenmasse der Ertragskomponenten der Höhe der Transpiration bzw. auf Bestandesebene häufig auch der Evapotranspirationshöhe gegenüber gestellt.

Die Wassernutzungseffizienz der Einzelpflanze entspricht damit:

$$WUE = \frac{TM}{(E)T} \quad (\text{Gl. 2})$$

wobei T_M die (oberirdischer) Trockenmasse und T die Transpiration, bzw. ET die Evapotranspiration (Boden- und Pflanzenverdunstung, die im Feldversuch messtechnisch schwer zu trennen sind) darstellen.

Die verschiedenen Betrachtungsebenen stehen zueinander in Verbindung, wobei jedoch auf jeder Ebene auch unterschiedliche Faktoren hinzutreten, die oft keine einfache „Skalierung“ zwischen Blatt, Pflanze und Bestand erlauben. So kann etwa auf Bestandesebene im Freiland eine rasche Bodenbedeckung und damit die verstärkte Allokation der verfügbaren Bodenwasserressourcen zur Pflanze bei gleichzeitiger Verringerung der Bodenverdunstung eine größere Rolle für die Pflanzenwasserversorgung und die WUE des Bestandes spielen als eine hohe WUE_i des Einzelblattes. Es ist auch zu berücksichtigen, dass die physiologische WUE_i nicht notwendigerweise mit einem hohen Ertrag korreliert (Blum, 2005), sondern ihre Ertragswirkung wesentlich von den zugrunde liegenden Faktoren (sparsame Wassernutzung über sensitive Stomata vs. Effizienz des photosynthetischen Apparates, damit rasche Erniedrigung von c_i und Erhaltung eines hohen Gradienten zu c_a bei gleicher Stomataöffnungsweite) sowie der Intensität der Trockenheit abhängt.

Zielsetzung der Untersuchung war es, unter kontrollierten Bedingungen im Topfversuch an der Einzelpflanze die Wirkung von AGROSOL auf die Wassernutzungseffizienz zu bestimmen sowie mögliche Wirkungsmechanismen des Produkts zu analysieren.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsanlage

Die Versuche wurden in einem Klimaschrank (Vötsch Industrietechnik) am Institut für Hydraulik und Landeskulturelle Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien im Zeitraum Dezember 2009 bis Februar 2010 durchgeführt. Abbildung 1a zeigt den Tagesgang von Temperatur und Luftfeuchte im Klimaschrank. Der Versuch wurde als vollständig randomisiertes Design (CRD) im Klimaschrank etabliert (Abbildung 1b), wobei zusätzlich die Position der Töpfe nach jeder Messung variiert wurde, um allfällige Einflüsse der Anordnung im Klimaschrank auszuschließen (Lee & Rawlings, 1982).

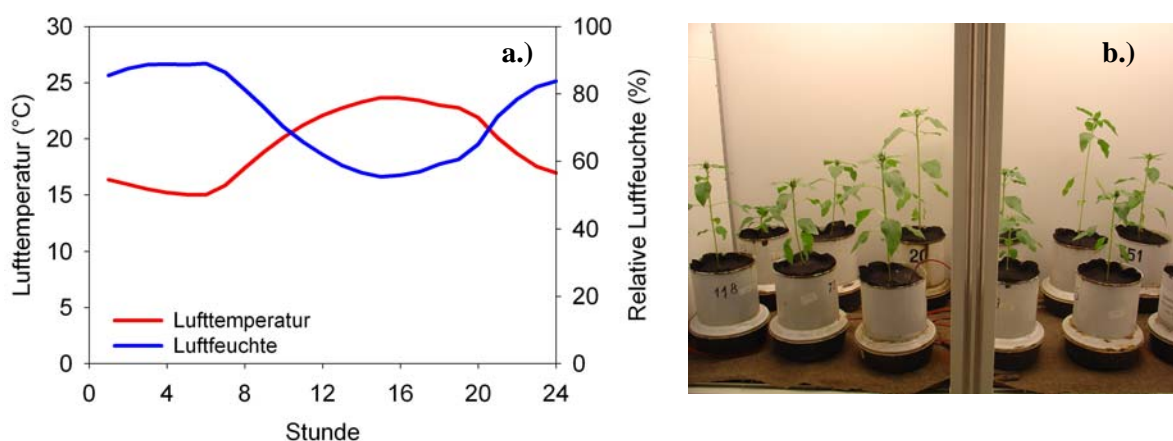


Abbildung 1: Tagesgang von Temperatur und Luftfeuchte (a) und Versuchsanordnung der Pflanzen im Klimaschrank (b).

2.2 Material

Als Modellkultur wurde Sonnenblume (*Helianthus annuus*) verwendet. Die Samen wurden in einer Keimschale angekeimt und anschließend in Mitscherlich-Gefäßen ($\varnothing=20$ cm, Tiefe=30 cm) gepflanzt. Es wurden sechs Töpfe pro Variante etabliert, wobei nur vier Wiederholungen pro Variante ausgewertet wurden, die jene Pflanzen umfassten, welche vor der ersten

Applikation homogene Ausgangspflanzen bildeten. Damit wurde eine Verzerrung der Ergebnisse der Behandlung durch inhomogenes Ausgangsmaterial vermieden.

Als Substrat wurde Quarzsand mit geringem Anteil an Feinfraktion in einer Körnung zwischen 0-2 mm verwendet. Das sandige Substrat wurde zum Zweck der Simulation von Trockenstressbedingungen verwendet, wobei die verwendete Mischung in Vorversuchen ausreichend Wasserhaltefähigkeit zeigte, um bei wöchentlicher Bewässerung keine Schädigung der Pflanzen durch extremen Wassermangel zu bewirken.

Die Töpfe wurden vor Saat der Sonnenblume am 11. Dezember 2009 mit Wasser aufgesättigt und danach für drei Tage frei gegen die Atmosphäre drainiert. Im Mittel stellte sich im Topf bei einem Gravitationspotential von 25 cm (Füllungshöhe des Topfes) in dem Substrat ein Wassergehalt bei Feldkapazität von 37,1 Vol.% ein. (Zur Wasserpotentialverteilung bei Topfversuchen siehe Blum).

2.3 Behandlung und Kulturführung

Die Pflanzen wurden während der Vegetationsperiode im Abstand von 14 Tagen mit AGROSOL in einer Konzentration von 6 g l⁻¹ Wasser behandelt. Die erste Behandlung erfolgte zum Stadium BBCH 12. Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Versuchsdurchführung.

Die Pflanzen wurden nach jeder Messung in etwa wöchentlichem Abstand gegossen und der Wasseranteil in den Töpfen wieder auf Feldkapazität gebracht. Abbildung 2 zeigt die Wassergehaltesverläufe in der Austrocknungsphase zwischen zwei Bewässerungsintervallen. Schätzt man den Permanenten Welkepunkt des Substrates bei etwa 5 Vol.%, so wurden Wasserversorgungszustände zwischen 77 % und 47 % nFK erreicht. Die Bodenoberfläche wurde mit einer Folie bedeckt, um die Bodenverdunstung zu minimieren. Die Düngung erfolgte mit einem Flüssig-Volldünger (IKOSAN Blumen-Dünger).

Tabelle 1: Entwicklungsstadien und Behandlungen während des Versuchs

Datum	Entwicklungsstadium	Behandlung
11. Dezember 2009	BBCH 07	Saat der vorgekeimten Samen
17. Dezember 2009	BBCH 12	AGROSOL
23. Dezember 2009	BBCH 14	Düngung
30. Dezember 2009	BBCH 31	AGROSOL
14. Januar 2010	BBCH 51	AGROSOL und Düngung
29. Januar 2010	BBCH 63	AGROSOL
23. Februar 2010	BBCH 69	Ernte

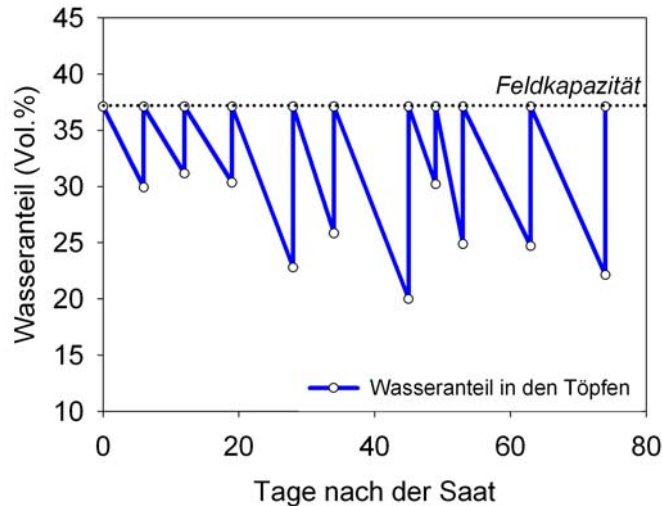


Abbildung 2: Mittlerer Bodenfeuchteverlauf in den Mitscherlich-Gefäßen zwischen den Beprobungszeitpunkten

2.4 Messungen

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Messungen. Schwerpunkt war die Bestimmung des Wasserverbrauchs für die anschließende Berechnung der Wassernutzungseffizienz. Die Parameter Stomataleitfähigkeit und Chlorophyllgehalt (Photosyntheseeffizienz) wurden als mögliche physiologische Variable bestimmt, die Änderungen der WUE zugrundeliegen können.

Neben den wöchentlichen Messungen wurde um die Blüte (5. Februar 2010) eine Messreihe der stomatären Leitfähigkeit durchgeführt. Dabei wurde eine Startmessung vor Applikation, danach Messungen im Abstand von 2 Stunden, 24 Stunden, 2 Tagen und 4 Tagen nach Applikation durchgeführt.

Tabelle 2: Parameter und Messmethoden

Parameter	Methode	Anmerkung
Pflanzenhöhe	Zollstab	
Blattlänge	Zollstab	
Chlorophyll-Gehalt	Minolta SPAD-Meter	5 Messungen pro Pflanze
Transpiration	Wiegung	Wasserverdunstung bei abgedeckter Oberfläche
Stomatäre Leitfähigkeit	Decagon SC1 Blattdiffusionsporometer	3 Messungen pro Pflanze
Biomasse	Trockenmasse 105°C	Zu Versuchsende

2.5 Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte im Programm SAS. Die Varianzanalyse wurde mit der Prozedur MIXED zur Berücksichtigung der zeitlichen Messwiederholungen durchgeführt (Piepho et al., 2004). Im Fall von signifikanten Unterschieden bei einem Signifikanzniveau von $p=0.05$ wurden die Mittelwerte der Varianten mittels t-Test verglichen. Beziehungen zwischen Variablen wurden über Regressionsanalyse im Programm SigmaPlot geprüft.

3. Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt den Wachstumsverlauf anhand der Parameter Wuchshöhe (a) und Blattlänge (b). Während die Wuchshöhe keinen signifikanten Behandlungseffekt aufwies, zeigten die AGROSOL-behandelten Pflanzen eine im Mittel um 11 % signifikant höhere Blattlänge.

Wesentliche Unterschiede im phänologischen Entwicklungsverlauf hinsichtlich Dauer bis zum Erreichen der Blüte konnten nicht beobachtet werden.

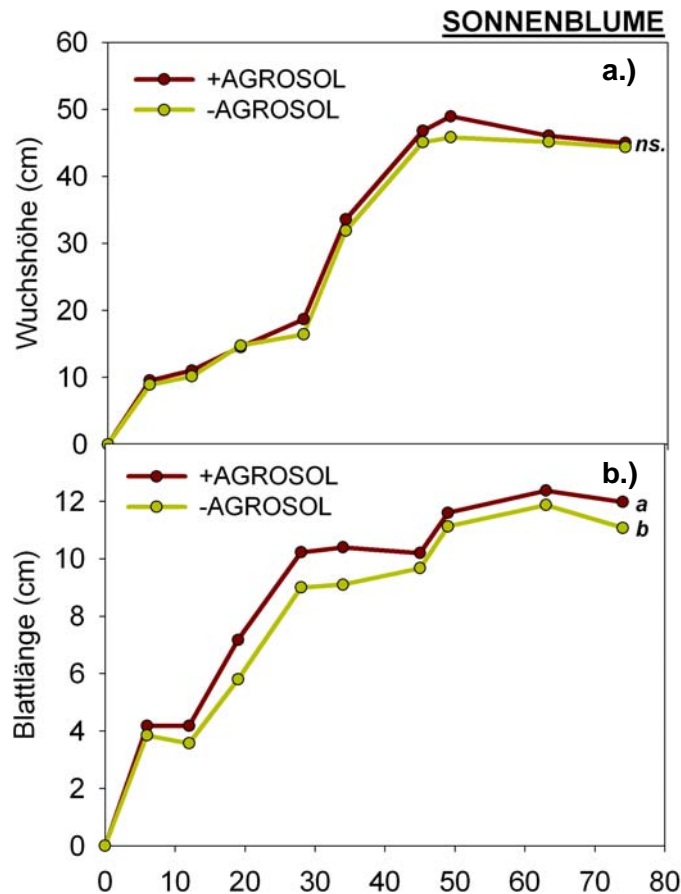


Abbildung 3: Verlauf der Wuchshöhe und Blattlänge (*ns.* nicht signifikant; signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von $p=0.05$ sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet).

Abbildung 4 zeigt die gemessenen SPAD-Werte als Indikator der Chlorophyll-Konzentration. Der Parameter wies jedoch keine signifikanten Unterschiede auf.

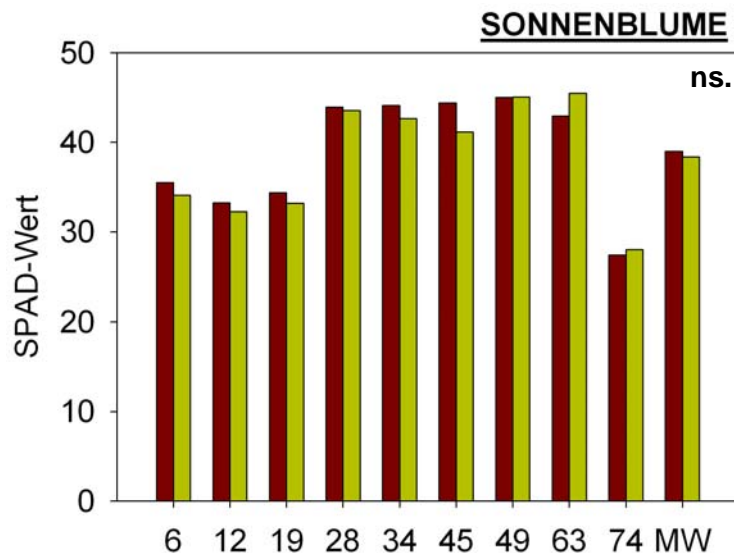


Abbildung 4: SPAD-Wert als Indikator der Chlorophyll-Konzentration im Blatt (*ns. nicht signifikant*)

Auch die stomatäre Leitfähigkeit ergab über den Versuchsverlauf kein konsistentes Bild (Abb. 5a). Es ist zu bemerken, dass die Leitfähigkeitswerte auch auf der Einzelpflanze starke Schwankungen zeigten und somit scheinbar große Unterschiede wie zu den Messungen nach 34 und 49 Tagen nach Saat statistisch nicht absicherbar waren.

Die Zeitreihenmessung (Abb. 5b) fiel in den Zeitraum um die Blüte (53 Tage nach Saat). Die AGROSOL-behandelten Pflanzen zeigten dabei konsistent und statistisch absicherbar geringere Stomataleitfähigkeiten. Der Verlauf der Messwerte über den gesamten Versuch erfordert jedoch in jedem Fall eine vorsichtige Interpretation dieses Ergebnisses, da zu erwarten ist, dass eine Messreihe um den Zeitpunkt 34 Tage nach Saat zu einem umgekehrten Ergebnis geführt hätte.

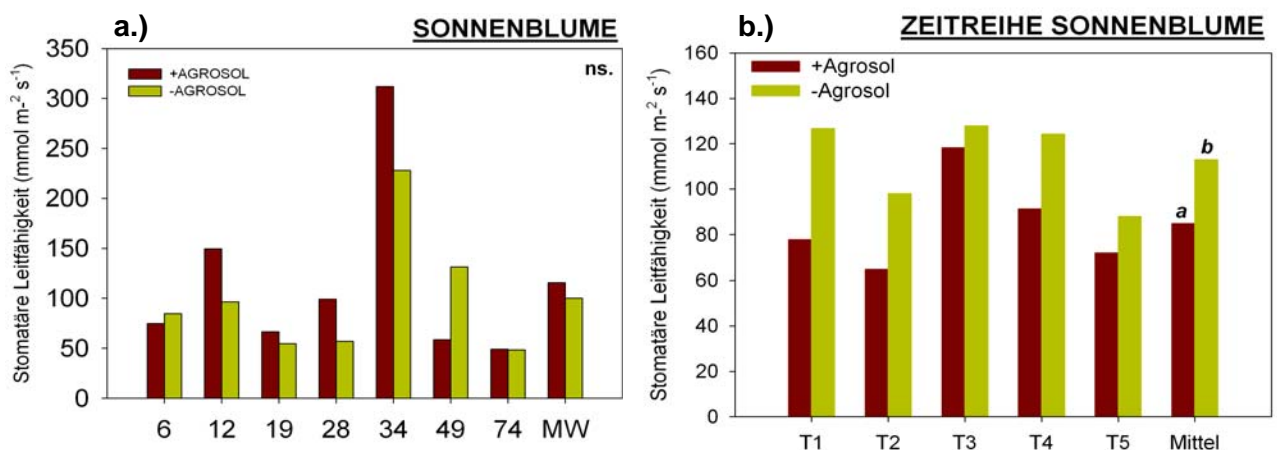


Abbildung 5: Stomatäre Leitfähigkeit (a) während dem Versuchszeitraum und (b) als Zeitreihe nach Applikation (n.A.) von AGRSOL (T1=vor Applikation, T2=2 Stunden n.A., T3=24 Stunden n.A., T4 = 48 Stunden n.A., T5= 96 Stunden n.A.; *ns. nicht signifikant; signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von $p=0.05$ sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet*).

Hinsichtlich Biomasseentwicklung (Abb. 6a) lagen die AGROSOL-Pflanzen über der unbehandelten Vergleichsvariante (+ 13,3 %), während der Wasserverbrauch (Abb. 6b) um 4,3 % geringer war. Während Biomasse und Wasserverbrauch in ihren Unterschieden statistisch nicht absicherbar waren, ergab sich hinsichtlich der Wassernutzungseffizienz als Quotient der Trockenmasse pro Einheit verdunstetem Wasser ein mit +19.1 % statistisch absicherbar höherer Wert bei der AGROSOL-Variante (Abb. 7).

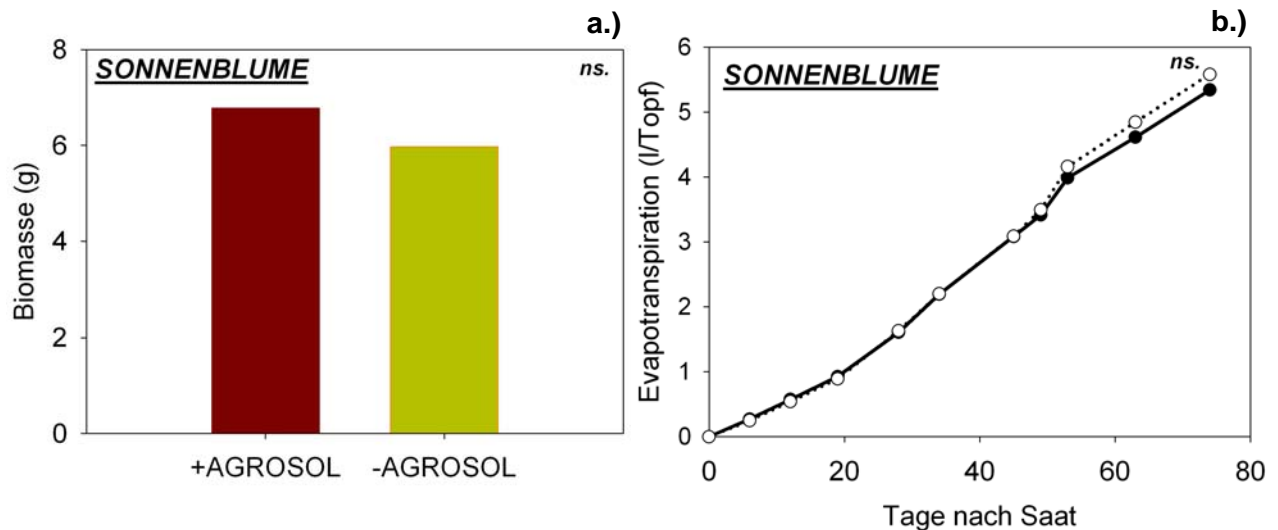


Abbildung 6: Oberirdischer Trockenmasse zu Versuchsende (a) und kumulativer Wasserverbrauch über den Versuchszeitraum (*ns.* nicht signifikant).

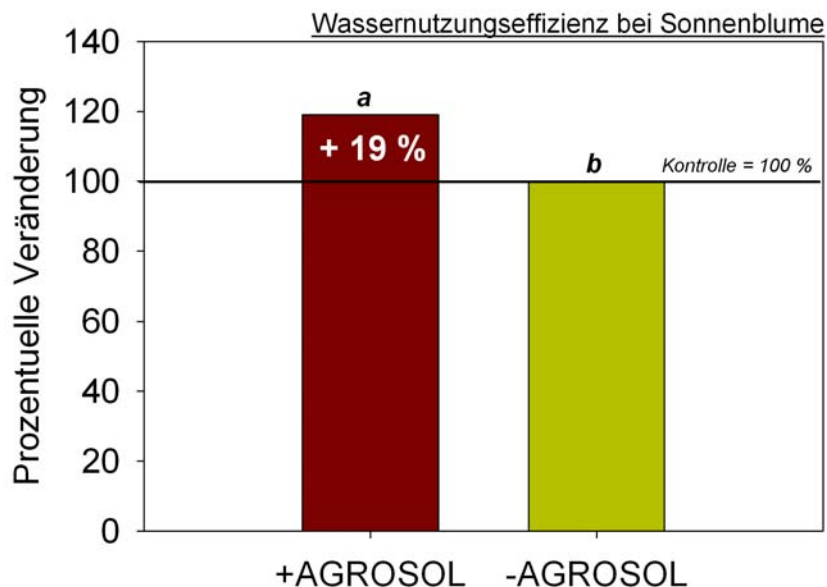


Abbildung 7: Prozentuelle Unterschiede der Wassernutzungseffizienz (*Signifikante Unterschiede bei einem Signifikanzniveau von $p=0.05$ sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet*).

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Rahmen eines Exaktversuchs (CRD in vier Wiederholungen) unter kontrollierten Bedingungen wurde in einer Klimakammer das Produkt AGROSOL an der Modellpflanze Sonnenblume getestet. Ziel der Untersuchung war die Überprüfung von Änderungen der Wassernutzungseffizienz (WUE) sowie die Analyse möglicher morphologischer und physiologischer Mechanismen einer verbesserten WUE.

Es konnte eine statistisch abgesicherte, höhere WUE von +19 % bei viermaliger Applikation von AGROSOL zwischen BBCH 12 und BBCH 69 festgestellt werden. Sowohl die Messung der stomatären Leitfähigkeit mittels Blattporometer als auch die Bestimmung des Chlorophyllgehaltes über ein SPAD-Meter (Farbmessung) ergaben keine eindeutigen Hinweise für die beobachtete höhere WUE.

Abb. 8 zeigt signifikante Regressionsbeziehungen, die zwischen Blattlänge und Biomasse bzw. WUE gefunden wurden, wobei die r^2 -Werte mit 0.49 bzw. 0.52 in einem eher niedrigen Bereich liegen. Eine höhere Blattfläche – bestimmt über den Indikator Blattlänge – liegt zwar

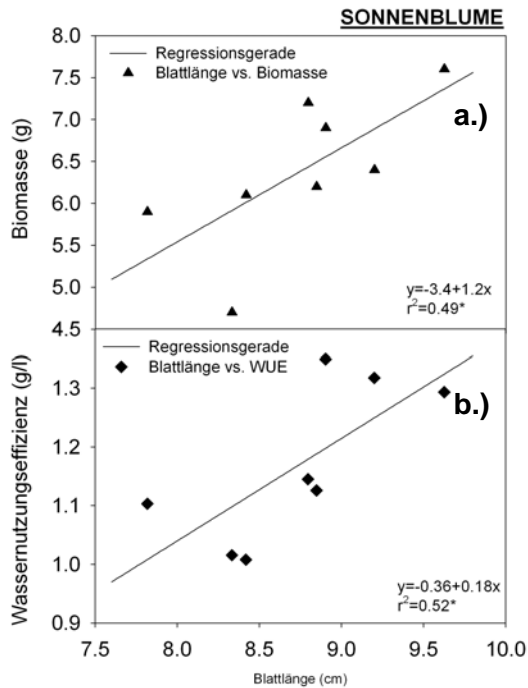


Abbildung 8: Regressionen von Blattlänge und Biomasse (a) sowie Wassernutzungseffizienz (b).

als wichtiger Grund einer verbesserten Assimilationsleistung nahe (höhere Strahlungsinterzeption). Die positive Beziehung zur WUE ist jedoch von einem physiologischen Hintergrund keine ausreichende Erklärung, insofern eine höhere Blattfläche nicht nur einen Anstieg der Assimilation, sondern auch der Transpiration bedeuten kann.

Methodisch ist festzuhalten, dass die Topfversuche unter kontrollierten Bedingungen eine sichere Bestimmung des Wasserverbrauchs zuließen, insofern sie geschlossene hydraulische Systeme darstellen. Hinsichtlich der Wirkung von AGROSOL über das Blatt ist jedoch festzuhalten, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass die ausbleibende Befeuchtung der Blattoberfläche in der Klimakammer im Vergleich zum Freiland die Aufnahme von AGROSOL über Diffusion durch die Blattepidermis beeinflusst hat. So wurde etwa beobachtet, dass nach der vierten Applikation ein weißlicher Sedimentationsrückstand des Produktes auf der Blattoberseite zurückgeblieben war. Dies kann wiederum auch die Chlorophyllmessung über das Blattgrün mit dem SPAD-Meter beeinflussen.

Aus den Versuchsergebnissen wird empfohlen, dass weitere physiologische Untersuchungen angeschlossen werden sollten, um den Wirkungsmechanismus für den festgestellten Einfluss des Produktes auf die WUE zu bestimmen. Insbesondere wird die Messung des Gaswechsels am Blatt (intrinsische Wassernutzungseffizienz) empfohlen. Darüber hinaus würde sich die radioaktive Markierung sowohl der Ca^{++} , der Mg^{++} als auch der Kohlenstoff-Komponente des Produktes anbieten. Diese nach Information des Herstellers chemischen Hauptbestandteile des Produktes können eine Wirkung auf verschiedene physiologische Funktionen im Zusammenhang mit der WUE haben (Stomata-Kontrolle, Photosyntheseeffizienz). Über die Isotopenanalyse wäre eindeutig feststellbar, in welchen Kompartimenten der Pflanze die Bestandteile von AGROSOL wirksam werden.

Abschließend sei im Zusammenhang mit der Interpretation der Ergebnisse noch einmal darauf hingewiesen, dass die exakte chemische Zusammensetzung des Produktes, insbesondere auch im Hinblick auf den Gehalt an Mikronährstoffen, den Versuchsanstellern nicht bekannt ist und somit keine Hypothesen über allfällige Teilwirkungen über Mikronährstoffe aufgestellt werden können.

5. Literatur

Blum, A. The Pot Experiment – Is it Your Cup of Tea? <http://www.plantstress.com/>

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Aust. J. Agr. Res. 56, 1159-1168.

Lee, Ch., Rawlings, J.O., 1982. Design of experiments in growth chambers – uniformity trials in the North Carolina State University Phytotron. Crop Scri. 22, 551-558.

Piepho, H.P.,A. Büchse, C. Richter, 2004: A mixed modelling approach for randomized experiments with repeated measures. J. Agron. Crop Sci. 190: 230-247.

DI Dr. Gernot Bodner e.h.

Wien, 15. März 2010