Hochschule Geisenheim University

Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna

# Masterarbeit

# Effekte von Unterstockpflegemaßnahmen auf die Vitalität von Boden und Weinreben


verfasst von

**Roman HÖRMAYER, BSc**


im Rahmen des internationalen Masterstudiums

Weinbau, Önologie und Weinwirtschaft

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science

Wien, oktober 2021


Betreut von:

Dr. Mathias Friedel
Inst. für allgemeinen und ökologischen Weinbau
Hochschule Geisenheim University

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Astrid Forneck
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Michaela Griesser
Inst. für Wein- und Obstbau
Dept. für Nutzpflanzenwissenschaften
Universität für Bodenkultur Wien

# Eidesstattliche Erklärung:

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Diese Arbeit wurde neben der gedruckten Version in digitaler Form zur Prüfung der o.g. Erklärung bei der zuständigen Prüferin/dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

# Danksagung:

Besonders bedanken möchte ich mich bei:

Meiner Betreuerin **Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Michaela Griesser** und meinem Betreuer **Dr. Mathias Friedel** für ihre fachliche Betreuung, für das Wissen und ihre Erfahrungen, die sie mit mir geteilt haben und für ihre Unterstützung bei der Durchführung.

Herrn **Ing. Erhard Kührer** und Herrn **Ing. Christoph Gabler** für von der Wein- und Obstbauschule Krems für die Bewirtschaftung der Versuchsflächen und die gute Zusammenarbeit.

Herrn **Sarhan.Khalil** für das Einbringen seiner Erfahrungen und seinem Wissen bei der Bodenenzym-Analyse und seiner Unterstützung bei Durchführung der Enzymaktivitätsmessungen, sowohl im Weingarten als auch im Labor in Tulln.

Frau **Federica De Berardinis** für Ihre Unterstützung bei der Enzymaktivitätsmessung und Auswertung im Labor.

Herrn **Rudi Rizzoli** für seine Hilfe bei der Vegetationsanalyse und den Untersuchungen im Versuchsweingarten in Langenlois.

Ein großes Dankeschön möchte ich meinen Eltern **Elisabeth und Johann** aussprechen. Sie haben mir nicht nur das Studium ermöglicht, sie fördern mich, wie auch mein Bruder **Gerhard** bereits mein ganzes Leben in allen wesentlichen Herausforderungen, wie dem Studium oder bei der Arbeit. Bedanken möchte ich mich auch bei vielen Freunden, Verwandten und Bekannten, die mich auf meinem Weg tatkräftig unterstützt haben. Besonders bei denen, die mir bei der Entstehung dieser Arbeit geholfen haben und hier nicht erwähnt wurden.

# Abstract:

Under-vine floor management can have a strong impact on the vineyard agricultural ecosystem. Different methods like mechanical cultivation, cover crops or herbicide affect not only physical and chemical soil characteristics but also the microbial activity in the soil and vine that grows on it. Based on this knowledge, we hypothesize that spontaneous vegetation below vines enhances soil physical and microbial characteristics in order to enhance related ecosystem functions and support of vine growth and nutrition. The main objectives addressed in this study are: 1) quantify the effects of under vine vegetation on vitality, yield and fruit quality of the grape vine 2) determine the effects on weed communities under vines by spontaneous cover crop vegetation, 3) analyse the response of hydrolytic soil microbial enzymes to different under vine management strategies as a proxy for microbial activity, and 4) how could the under-vine floor management balance the requirement and availability of water in the vineyard. The experiment was carried out in its second year in an experimental vineyard (V. vinifera cv. Pinot Noir, rootstock 5BB) in Langenlois (AT) applying five under vine treatments: herbicide, rotary hoe, vine weeder, mulched spontaneous cover crop and untreated spontaneous cover crop (control). We measured the enzyme activity of Acid-Phosphatase (AP), Beta-Glucosidase (BG) and Leucin-Aminopeptidase (LAP) in the under vine area (0-10 cm depth), the gravimetric soil water content, vine growth and photosynthetic activity, grape yield and ripening parameters. As the key result we found a strong positive correlation between the activity of the soil enzymes (AP: $R^2$=0,4634; BG: $R^2$=0,491; LAP: $R^2$=0,5388) with the proportion of green cover in the under-vine area, an effect increasing in the course of the vegetation period. Control vines had significantly shorter shoot lengths and significantly smaller berry weights at harvest, while yield and the ripening parameters were not affected. The treatment effect on berry weight compared to yield or ripening parameters could be explained by low precipitation, drought stress during flowering and berry development. Taken together we present evidence that the microbial activity in vineyards (as measured by hydrolytic enzyme activity) and soil physical properties can be influenced by the methods used for under-vine management strategies. A range of research questions were addressed and partially answered. Major knowledge gaps such as enzyme activity effects on nutrient cycles in soil and vine or the impact of cover crops and increasing enzyme activity on vine water balance need to be addressed further in long-term studies.

**Key Words:** Pinot Noir – hydrolytic soil enzyme – tillage – cover crop – microbial diversity – soil water content – vegetative growth

# Tabellenverzeichnis

**Tabelle 1:** Auflistung von Pflanzen für Unterstockbegrünungen (Dreisiebner-Lanz s.a.; Hofmann 2014)..... 18
**Tabelle 2**: Übersicht Material und Methode..... 23
**Tabelle 3:** Zeitplan der Unterstockbehandlungen und Untersuchungen..... 25
**Tabelle 4:** Zusammensetzung der Pflanzenarten im Unterstockbereich [%] an vier Beobachtungstagen (Einzelne Pflanzen wurden nicht berücksichtigt)..... 38

## Abbildungsverzeichnis:

**Abbildung 1:** Erdbeeren als Unterstockbegrünung (Dreisiebner-Lanz s.a.). ..... 17
**Abbildung 2**: Lage des Versuchsweingarten in Langenlois (Nö-Atlas). ..... 24
**Abbildung 3:** Wetterdaten Langenlois 2019 (adcon.at). ..... 24
**Abbildung 4:** Layout Versuchsweingarten und Versuchsanordnung ..... 26
**Abbildung 5:** Untersuchung der Unterstockvegetation. Reihe 6: Variante Stockräumer (Eigene Aufnahme). ..... 28
**Abbildung 6:** Mittelwert inkl. Standardabweichung des gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt (%) in 0-10cm und 10-20cm Tiefe zu für 4 unterschiedlichen Zeitpunkten in Abhängigkeit der 4 Bodenbearbeitungsvariante und Kontrolle. Daten vom gleichen Messtag und Tiefe wurden wurden miteinander verglichen (Signifikanzniveau α=0,05; N=80). ..... 32
**Abbildung 7:** Niederschlagsverteilung: Summe der Niederschläge [mm] 7 und 14 Tage vor Probennahme für Bodenfeuchte Messungen. ..... 32
**Abbildung 8:** Mittelwert-Plot: Mittelwert [%] der Gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt- Messungen in 0-10cm Tiefe (mean of GravWC10) in Abhängigkeit von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm] bzw. dem Zeitpunkt der Probennahme. Einfaktorielle ANOVA: s= signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit von der Niederschlagssumme (Signifikanzniveau α=0,001). ..... 34
**Abbildung 9:** Mittelwert-Plot: Mittelwert [%] der Gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt- Messungen in 10-20cm Tiefe (GravWC20) in Abhängigkeit von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm] bzw. dem Zeitpunkt der Probennahme. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit von der Niederschlagssumme und Variante (Signifikanzniveau α=0,001). ..... 35
**Abbildung 10:** Anteil des mittleren grünen Bewuchses in % inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsvariante zu vier verschiedenen Zeitpunkten. ..... 37
**Abbildung 11:** Korrelation zwischen gravimetrischen Bodenfeuchtewassergehalt (GraWC [%]) am 12.06.2019 und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]) am 20.05.2019. Bodenfeuchtegehalt in 0-10cm Tiefe links und 10-20cm rechts. ..... 37
**Abbildung 12:** Korrelation gravimetrischer Bodenfeuchtewassergehalt (GraWC [%]) am 30.07.2019 und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]) am 31.07.2019. Bodenfeuchtegehalt in 0-10cm Tiefe links und 10-20cm rechts. ..... 38
**Abbildung 13:** Mittlere Enzymaktivität [nmol g-1 h-1] inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Variante (Signifikanzniveau α=0,05, N=240). ..... 40
**Abbildung 14:** Mittlere Aktivität des Enzyms AP inkl. Standardabweichung [nmol g-1 h-1] in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante an vier verschiedenen Messtagen (Signifikanzniveau α=0,05, N=80). ..... 40
**Abbildung 15:** Mittlere Aktivität des Enzyms BG inkl. Standardabweichung [nmol $g^{-1}$ $h^{-1}$] in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante an vier verschiedenen Messtagen (Signifikanzniveau α=0,05, N=80). ..... 41
**Abbildung 16:** Mittlere Aktivität des Enzyms LAP inkl. Standardabweichung [nmol g-1 h-1] in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante an vier verschiedenen Messtagen (Signifikanzniveau α=0,05, N=80). ..... 41
**Abbildung 17:** Mittelwert-Plot. Enzym-Aktivität AP [nmol g-1 h-1], abhängig von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm]. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter

Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit nur von Variante (Signifikanzniveau α=0,001) N=80. ..... 42
**Abbildung 18:** Mittelwert-Plot. Enzym-Aktivität BG [nmol g-1 h-1], abhängig von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm]. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit von Variante und dem Zeitpunkt der Probennahme (Signifikanzniveau α=0,05) N=80. ..... 42
**Abbildung 19:** Mittelwert-Plot. Enzym-Aktivität LAP [nmol g-1 h-1], abhängig von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm]. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: ungültig. N=80. ..... 43
**Abbildung 20:** Korrelation AP Aktivität [nmol g-1 h-1] und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]) 17.04.19 links; 31.07.19 rechts. ..... 44
**Abbildung 21:** Korrelation BG Aktivität [nmol g-1 h-1] und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]). 17.04.19 links; 31.07.19 rechts. ..... 44
**Abbildung 22:** Korrelation LAP Aktivität [nmol g-1 h-1] und grüner Bodenbedeckung (cover_green[%]). 17.04.19 links; 31.07.19 rechts. ..... 45
**Abbildung 23:** Mittelwerte Trieblängen Wachstum [cm] inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbehandlungsvariante am 21.05.2019 und 12.06.2019 (Signifikanzniveau α=0,05)..... 47
**Abbildung 24:** Korrelation zwischen Gewicht/Rebe [kg] links und zwischen Trieblängenwachstum [cm] und Unterstockbodenbedeckung (cover_green) [%] rechts. ..... 47
**Abbildung 25:** Mittlere Photosynthese Aktivität inkl. Standardabweichung am 18.06.19. E= Transpiration Rate (mmol H2O m-2 s-2); gs= Stomatäre Leitfähigkeit (mol CO2 m-2 s-2); A= Assimilation Rate (µmol CO2 m-2 s-e) (Signifikanzniveau α=0,05, N=45). ..... 48
**Abbildung 26:** Mittlere Photosynthese Aktivität inkl. Standardabweichung am 26.06.19. E= Transpiration Rate (mmol H2O m-2 s-2); gs= Stomatäre Leitfähigkeit (mol CO2 m-2 s-2); A= Assimilation Rate (µmol CO2 m-2 s-e) (Signifikanzniveau α=0,05, N=45). ..... 49
**Abbildung 27:** Streudiagramm: Korrelation zwischen Grüner Bodenbedeckung (cover_green,%) und gs= Stomatäre Leitfähigkeit (mol CO2 m-2 s-2) links; A= Assimilations-Rate (µmol CO2 m-2 s-e) rechts. ..... 50
**Abbildung 28:** Streudiagramm: Korrelation zwischen AP Aktivität [nmol g-1 h-1] und gs= Stomatäre Leitfähigkeit [mol CO2 m-2 s-2]; A= Assimilations Rate [µmol CO2 m-2 s-e]. ..... 50
**Abbildung 29:** Mittleres Traubengewicht [kg], Traubengewicht/Stock und Traubenanzahl/Stock inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbearbeitungsvariante (Signifikanzniveau α=0,05, N=60). ..... 51
**Abbildung 30:** Mittleres Beerengewicht inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbehandlungsvariante am 15.08.2019 und 03.09.2019 (Signifikanzniveau α=0,05, N=15).. 52
**Abbildung 31:** Streudiagramm und Pearson Korrelationsanalyse.Grüne Bodenbedeckung (cover_green [%]); und Beerengewicht [g] links; Traubengewicht[g] rechts. ..... 53
**Abbildung 32:** Streudiagramm. Grüne Bodenbedeckung (cover_green [%]); und Relative Dichte (Brix°); links 15.08.2019; rechts 03.09.2019. ..... 54
**Abbildung 33:** Streudiagramm.Grüne Bodenbedeckung (cover_green [%]); und Gesamtsäure (TA); links 15.08.2019; rechts 03.09.2019..... 54
**Abbildung 34:** *Wetterdaten Langenlois Juni 2019. 2. Messtag am 12.06.2019 (adcon.at).*..... 55
**Abbildung 35:** Wetterdaten Langenlois Juni 2019. 3. Messtag am 26.06.2019 (adcon.at)**.** ..... 56

# Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung ..... 1
2. Allgemeiner Teil - Ökosystem Weingarten ..... 4
2.1 Rebsorte ..... 4
Pinot Noir ..... 4
2.2 Ökosystem Boden ..... 5
2.2.1 Boden ..... 5
2.3 Bodenpflegemaßnahmen ..... 9
2.3.1 Mechanische Bodenbearbeitung (Offener Boden) ..... 9
2.3.2 Begrünungen ..... 11
2.3. Unterstockpflegemaßnahmen ..... 14
2.3.1. Mechanische Unterstockbearbeitung ..... 14
2.3.2 Chemische Unterstockbehandlung ..... 16
2.3.3 Begrünungen im Unterstockbereich ..... 17
2.4 Bodenenzyme ..... 19
2.4.1 Saure Phosphatase ..... 20
2.4.2 Beta Glucosidase ..... 21
2.4.3 Leucin Aminopeptidase (LAP) ..... 21
2.5 Bodenbiologische Aktivität ..... 21
3. Material und Methode ..... 23
3.1 Versuchsumgebung und klimatische Bedingungen ..... 23
3.2 Methoden: ..... 25
3.3 Analytische Untersuchungen: ..... 27
4. Ergebnisse ..... 31
4.1. Effekte auf die bodenphysikalischen Parameter ..... 31
4.1.1 Bodenfeuchte ..... 31
3.1.2 Unterstockvegetation ..... 36
3.2. Effekte auf die Bodenbiologische Akitivität ..... 39
3.3 Effekte auf die Wachstums- und Ertragsphysiologie ..... 46
3.3.1 Trieblängen-Wachstum und Schnittholzgewicht ..... 46
3.3.2 Photosynthese Aktivität ..... 48
3.3.3 Ertrag und Beerengewicht ..... 51
3.3.5 Reife Parameter (Brix° und Gesamtsäure) ..... 53

5. Diskussion ..... 55
5.1. Effekte auf Bodenphysikalische Parameter ..... 55
5.2. Effekte auf die bodenbiologische Aktivität ..... 57
5.3. Effekte auf die Rebenvitalität und Ertragsphysiologie ..... 59
6.Zusammenfassung ..... 64
7.Literaturverzeichnis ..... 66

## 1. Einleitung

Weingärten sind intensiv bewirtschafte Agrarflächen, in denen neben den Kulturpflanzen auch Begrünungen in den Fahrgassen wachsen bzw. bewusst angesät werden. Diese Begrünungen und die Pflegemaßnahmen direkt unter den Weinreben sind ein wesentlicher Baustein bei der Bekämpfung von unerwünschten Beikräutern (Steenwerth et al. 2016), der Erhaltung und Entwicklung der Bodenstruktur (Six et al. 1999), der Verbesserung der Biodiversität von Makro- bis Mikrofauna (Sommaggio et al. 2018) und die Förderung einer Vielfalt von Nützlingen (Winter et al. 2018).

Die Pflegemaßnahmen im Unterstockbereich lassen sich in mechanische, chemische und begrünte Verfahren unterteilen (Guerra und Stemworth 2012). Im Weinbau weit verbreitet ist der Einsatz von Herbiziden wie z.B. Flazasulfurone, Glufosinate oder Glyphosate um den Pflanzenbewuchs im Unterstockbereich kostengünstig und effizient zu stören (Zaller et al. 2018). Ökologische Bedenken über den Einsatz von Herbiziden und ein vermehrter Umstieg zu einer biologisch ökologischen oder einer biologisch-dynamischen Bewirtschaftung führten zu einem Umstieg auf mechanischen Maßnahmen zur Beikraut Entfernung im Unterstockbereich. Aktuell gibt es auch Versuche mit einer gezielten Begrünung im Unterstockbereich um konkurrierende Beikräuter zu unterdrücken (Abad et al. 2020). Die Effekte der oben genannten Pflegemaßnahmen im Unterstockbereich können durchaus unterschiedlich sein. Eine mechanische Bodenbearbeitung führt zu einer verstärkten Mineralisation und Mobilisierung von Stickstoff (Calderón et al. 2001), die das Wachstum der Weinreben fördern kann (Guerra und Steenwerth 2012), aber gleichzeitig auch zu einer Reduktion des Humusgehalts (Six et al. 1999) und zu einer Verschlechterung der Bodenbeschaffenheit (Blanco-Canqui und Wortmann 2020) führen kann. Der Einsatz bestimmter Techniken bzw. deren falscher Anwendung kann zu Verletzungen und in Folge zu negativen Auswirkungen auf die Gesundheit der Rebstöcke führen (Lanini 2006; Geyrhofer 2018). Herbizide werden oft in schwierigem Gelände eingesetzt und bilden eine kostengünstige und effektive Methode zur Reduktion von Beikräutern. Nachteile sind die Gefahren ökologischer Effekte, im speziellen die Entwicklungen von Resistenzen (Ghanizadeh et al. 2015) und die Auswaschung ins Grund- und Oberflächengewässer (Herrero-Hernández et al. 2017).

Ausgesäte oder natürliche Begrünungen im Unterstockbereich können Beikräuter unterdrücken (Steenwerth et al. 2016), sich positiv auf die Bodenstruktur (Ferrero et al. 2005),

die Wasseraufnahmefähigkeit (Leonard und Andrieux 1998) und in weiterer Folge auch auf die im Boden lebenden Organismen, wie z.B. Mykorrhiza Pilze (Novara et al. 2020) oder Regenwurm Populationen (Schreck et al. 2012) auswirken und bieten zudem einen hohen Schutz vor Erosion (Gaudin et al. 2010). Beobachtete ungünstige Effekte sind eine mögliche Konkurrenz der Begrünungspflanzen um Wasser und Nährstoffe (Moutinho-Pereira et al. 2004).

Das mikrobielle Bodenleben in Weingärten hat viele ökologische Funktionen, eine wichtige ist die Bereitstellung von pflanzenverfügbarem Stickstoff (van Leeuwen et al. 2018). Untersuchungen in Weingärten konnten einen Einfluss von Pflegemaßnahmen des Bodens auf die mikrobielle Biodiversität feststellen, aber auch die Komplexität der Zusammenhänge und die Variabilität in den (Burns et al. 2015; Burns et al. 2016). Moderne Sequenzierungstechniken führten in den letzten Jahren zu einer Zunahme des Wissens der Zusammensetzung mikrobieller Gemeinschaften im Boden (Burns et al. 2015). Eine etablierte und einfachere Methode um Rückschlüsse auf die mikrobielle Aktivität in Boden zu erhalten, ist die Untersuchung von exogenen katalytischen Enzymen der Bodenmikroorganismen, nachfolgend vereinfacht „Enzym Aktivität“ genannt (Deng et al. 2011). Exogene katalytische Enzyme ermöglichen die Interpretation der Gesamtaktivität von Mikroorganismen im Boden und lassen Rückschlüsse auf die Umsetzungsprozesse der organischen Substanz, vor allem Nährstofffreisetzung, im Boden zu (Alkorta et al. 2003).

Bislang gibt es nur wenige Untersuchungen, die den Einfluss des Bodenmanagements sowohl auf die Enzym Aktivität als auch auf die Vitalität der Rebe untersuchen (Tesic et al. 2007; Lagomarsino et al. 2018), oder sich mit der Frage der unterschiedlichen Unterstockpflege auseinandersetzen (Hostetler et al. 2007; Karl et al. 2016).

Die Interaktionen im Weingarten, induziert durch Unterstockpflegemaßnahmen zwischen hydrolytischen Enzymen im Boden, Beikraut Bewuchs, Bodenfeuchte und der Reben-Vitalität sind komplex. In dieser Arbeit werden erste Effekte und Zusammenhänge untersucht. Daraus ergeben sich praxisrelevante Forschungsfragen:

Sind spontane Begrünungen eine geeignete Variante für den Unterstockbereich und wie wirkt sich die Begrünung auf den Bodenfeuchtehaushalt und die Vitalität der Weinrebe aus? Welchen Einfluss haben die unterschiedlichen Behandlungsvarianten auf die Ertragsphysiologie? Gibt es einen Einfluss der klimatischen Bedingungen und dem Jahresverlauf? Wie entwickelt sich der Bewuchs im Unterstockbereich in den unterschiedlichen Varianten im Laufe der Vegetationsperiode? Wirken sich unterschiedliche

Unterstockbearbeitungsmethoden auf die Aktivität bzw. Vorkommen hydrolytischer Bodenenzyme aus und gibt es klimatische oder jahreszeitliche Einflüsse? Können Veränderungsprozesse im Kulturökosystem Weingarten anhand der Aktivität der Bodenenzyme interpretiert werden? Hat der Einsatz von Herbizid im Unterstockbereich negative Auswirkungen auf die Enzymaktivität im Vergleich zu mechanischen Unterstockpflegemaßnahmen und spontanen Begrünungen?

Der Versuch mit den Versuchsvarianten (Begrünung/gemulcht, Herbizid, Stockräumer, Rollhacke und Kontrolle(unbehandelt)) wurde 2018 angelegt und befindet sich im 2. Versuchsjahr in der aktuellen Untersuchung. Es werden bodenphysikalische Parameter, Bodenbedeckung und Vegetation, vegetative und generative Parameter der Weinreben und die Enzymaktivität im Boden gemessen.

Unseren Fragestellungen und dem Versuchsaufbau liegen folgende Hypothesen zu Grunde:

- Bodenenzyme sind adäquate Indikatoren, um Veränderungsprozesse im Weingarten darzustellen.
- Begrünungen unterstützen die Bildung organischer Substanz und Erhöhung mikrobieller Aktivität im Boden.
- Herbizide haben negativen Einfluss auf die Enzym Aktivität im Weingartenboden.
- Gemulchte Begrünungen im Unterstockbereich sind eine geeignete Alternative zu mechanischer und chemischer Unkrautkontrolle.

# 2. Allgemeiner Teil - Ökosystem Weingarten

## 2.1 Rebsorte

Die Weinrebe gehört zu den ältesten zweikeimblättrigen Kulturpflanzen der Welt. Wilde Reben der Gattung *Vitis* sind ursprünglich auf der Nordhalbkugel beheimatet. Heutige Kultursorten entstanden aus geschlechtlicher Vermehrung oder spontaner Mutation und gezielter ungeschlechtlicher Vermehrung sowie Selektion der europäischen und asiatischen Wildreben (Kadisch und Müller 2019).

Für den Weinbau haben heute die europäische Kulturrebe (*Vitis vinifera sativa*) und die amerikanischen Reben (*Vitis riparia, Vitis berlanderi* u.a.) die größte Bedeutung. 99,9% der Weltweinerzeugung werden aus Sorten aus der Unterart *Vitis vinifera ssp.* gekeltert. Heute gibt es ca. 21.500 verschiedene Rebsorten, 5 % davon werden im nennenswerten Ausmaß kultiviert. Eine davon ist die Rebsorte Pinot Noir (Bauer et al. 2019).

### Pinot Noir

Der blaue Spätburgunder ist eine der ältesten bekannten Kulturreben. Die Rebsorte ist eine Kreuzung aus Schwarzriesling und Traminer und stammt vermutlich aus der Burgund, wo ihr Anbau bis ins 4. Jahrhundert nachgewiesen werden kann (Lott et al. 2010). Die Sortenmerkmale sind bis auf die Beerenfarbe identisch denen des Weißen und Grauen Burgunder:

- Triebspitze weißlich hellgrün, stark behaart.
- mittelstarker Wuchs.
- Blatt mittelgroß, wenig gebuchtet, blasig, rundlich bis schwach fünf lappig, stumpf bis fein gezähnt, Stielbucht V-förmig offen.
- Trauben mittelgroß, walzenförmig, dichtbeerig
- Beeren klein, rund dünnschalig saftreich, stark beduftet
- Holz graubraun, dunkel gestreift und gefleckt, engknotig
- Austrieb mittel bis spät
- Blüte spät
- Hohe Blühfestigkeit
- Mittelspäte Reife

Darüber zeigen sich große Klonunterschiede bei der Sorte bezgl. Beeren, Traubengröße bzw. Traubenarchitektur und Wuchs (Bauer et al. 2019).

Die Sorte stellt hohe Ansprüche an Lage und Böden. Um Weine mit hoher Qualität produzieren zu können werden frühe und warme Lage benötigt. Pinot Noir benötigt Standorte mit warmen, fruchtbaren, lockeren, tiefgründigen Böden, die nicht zu trocken sind. Abhängig von der Unterlagsrebe sind auch leicht erwärmbare und trockneren Gesteins, Sand oder Kiesböden geeignet (Redl et al. 1996). Die Sorte hat eine ausreichende Winterfrostwiderstandsfähigkeit. Bei Spätfrösten zeigt sich eine höhere Empfindlichkeit (Lott et al. 2010; Redl et al. 1996).

Nicht nur die Bodenart und Lage spielen bei der Kultivierung der Rebsorte eine entscheidende Rolle auch die Bodenpflege beeinflusst die Entwicklung der Rebe. Aktuelle Versuche mit der Sorte Pinot Noir zu unterschiedlichen Bodenmanagement haben gezeigt wie stark das vegetative Wachstum, der Ertrag und die Stickstoff Konzentration in Blättern und Früchten von der Bodenbehandlung abhängig ist (Reeve et al. 2016). Gräser dominierte Begrünung in den Fahrgassen führen einerseits zu einer Reduktion der Wüchsigkeit und des Ertrags und andererseits zu einem geringen Stickstoff Gehalt in den Blättern und im Saft der Beeren, trotz ausreichender Niederschläge und keiner wasserbedingten Stresssituation (Reeve et al. 2016).

Bezüglich Traubengesundheit, ist die Sorte durch ihre kompakte Traubenarchitektur, der relativen dünnen Beerenschalen und eventuell unzulänglich durchgeführter weinbaulicher Maßnahmen anfällig gegenüber Botrytis Infektionen (Lott et al. 2010). Die Anfälligkeit gegenüber Peronospora und Oidium hält sich in Grenzen (Lott et al. 2010).

## 2.2 Ökosystem Boden

### 2.2.1 Boden

Als Boden bezeichnen wir die oberste Verwitterungsschicht der festen Erdrinde. Er setzt sich zusammen aus festen, mineralischen Bestandteilen, organischer Substanz, Wasser und Luft (Kadisch und Müller 2019). Der Boden fungiert als Verankerungsraum für Pflanzen, Speicher und Vermittler von Wasser und Nährstoffen, sowie als Lebensraum verschiedener Bodenorgansimen (Maier 2005).

Böden verankern die Rebe, dienen als Substrat für Wasser und Nährstoffe und sorgen für ein bestimmtes Temperaturregime in der Wurzelzone (van Leeuwen et al. 2018). Wechselwirkungen zwischen den unterschiedlichen Weingartenböden und der Rebe haben einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Trauben und die Qualität des Weines (van Leeuwen et al. 2018). Temperaturverhältnisse, Wasserhaushalt, Bodenstruktur, Bodenleben,

Lufthaushalt und der Nährstoffgehalt im Boden beeinflussen den Charakter und die Qualität des Weines (Bauer et al. 2019). Der Begriff „Terroir“ prägt und beeinflusst nicht nur die unterschiedlichen Wein Qualitäten sondern wirkt sich auch auf die Entwicklung der Weinreben aus. Bodentemperatur, Bodenfeuchteversorgung oder Bodenmineralversorgung z.B. haben große Auswirkungen auf die Entwicklung der Reben, die Phänologie und die Reifungsdynamik der Trauben (van Leeuwen et al. 2018). Gute Weingartenböden sind gut durchlüftet, leicht erwärmbar und ausreichend tiefgründig. Sie haben entsprechende Gehalte an Nährstoffen, Humus und Feinerde und haben eine geregelte Wasserführung (Bauer et al. 2019).

Bodenstruktur:

Die Bodenstruktur beschreibt eine bestimmte räumliche Anordnung der festen Bestandteile in Wechselwirkung mit anderen physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren (Hofmann 2014). Ein optimaler Ackerboden besteht aus anorganischen, mineralischen und abgestorbenen und umgewandelten Bestandteilen, aus Bodenlebewesen sowie der Bodenluft und dem Bodenfeuchte. Die Fruchtbarkeit und Qualität der Böden ist durch die Krümeligkeit bzw. der Stabilität der Bodenaggregate (Ton-Humus-Komplexe) bestimmt (Hofmann 2014). Die Bodenstruktur spielt auch eine wesentliche Rolle bei der Auswahl der geeigneten Bodenmanagement Variante. Kompakte, schwere, fein strukturierte Böden profitieren von einer gelegentlichen Bodenbearbeitung stärker als Böden mit einer gröberen Struktur (Blanco-Canqui und Wortmann 2020).

Bodentemperatur:

Die Bodentemperatur ist u.a. von der Bodenstruktur, Hangneigung, Exposition und Bodenfarbe abhängig (van Leeuwen et al. 2018). Untersuchungen haben gezeigt wie die Bodentemperatur im Wurzelraum zusammen mit den klimatischen Bedingungen die Phänologie der Rebe beeinflussen können. Kalte Böden können die Reife verzögern, während schnell erwärmbare Böden diesen Prozess beschleunigen können (van Leeuwen et al. 2018). Auch die Bodenfeuchte spielt eine wesentliche Rolle bei der Bodentemperatur. Feuchte Böden sind kühler als trockene (Tesic et al. 2002). Ein Aspekt mit Bedeutung für diese Arbeit bezgl. Bodentemperatur ist die Tatsache, dass unterschiedliche Bodenmanagement Varianten, wie Begrünungen oder mechanische Bodenbearbeitung in der Fahrgasse keinen Einfluss auf die Bodentemperatur haben (Steenwerth und Belina 2008).

Wasser- und Lufthaushalt im Boden:

Wasser und Luft stehen in einer Wechselbeziehung im Boden. Der Luft- Wasserhaushalt ist abhängig vom Porenvolumen. Diese Poren sind von der Form und Größe der Bodenteilchen, der Lagerungsdichte und dem Humusgehalt abhängig. Die Verteilung unterschiedlicher Porengrößen und Wechselwirkung zwischen Luft und Wasser spielen bei der Wasserhaltekapazität der Böden und der Durchwurzelung sowie der Wasser-aufnahmefähigkeit der Rebe eine große Rolle. Weingärtenböden müssen über eine gute Durchlüftung verfügen (Kadisch und Müller 2019).

Ein Versuch mit roten Rebsorten in Bordeaux hat gezeigt, dass unzureichende Wasserverfügbarkeit im Boden für die Reben nicht nur zu einer Verringerung der Beerengröße, Zunahme des Zuckergehalts, Abnahme der Äpfelsäure und Erhöhung des Anthocyanin Gehalts im Saft der Beeren führen kann, sondern durch die verstärkte Produktion des Hormons Abscisinsäure auch zu einer Beschleunigung der Beerenreife führen kann (van Leeuwen et al. 2016). Bei moderatem Wasserstress können diese Effekte positiv bewertet werden. Wird der Wasserstress zu hoch, kann es durch die Abnahme der Photosynthese Leistung und dem damit verbundenen reduzierten Zuckergehalt in den Beeren zu einer Verzögerung der Beerenreife führen (van Leeuwen et al. 2016). In derselben Arbeit zeigt sich auch, dass es durch ein Überangebot an Wasser zu einer Reduktion des Beerenzuckergehalts, aufgrund des Wettbewerbs um Kohlenstoff zwischen Beerenreifung und Trieblängenwachstum und der Zunahme der Beerengröße kommen kann. Andere Experimente beschäftigten sich mit den Auswirkungen des pflanzenverfügbaren Bodenfeuchtegehalts auf das vegetative Wachstum der Rebe und zeigten, dass Wasserstress je nach seiner Intensität einen direkten Einfluss auf das Triebwachstum, die Anzahl der Blätter und die Entwicklung der Geiztriebe hat (Pellegrino et al. 2005).

Mineralische Bestandteile:

Mineralische Bestandteile spielen eine wichtige Rolle in der Rebernährung. Viele wichtige Nährelemente sind in den Primär- und Sekundärmineralien enthalten, chemische und biologische Prozesse machen sie für Pflanzen verfügbar (Kadisch und Müller 2019). Diese mineralische Zusammensetzung der Böden hat jedoch keinen direkten Einfluss auf das Aromaprofil der Weine (Maltman 2013). Anderseits zeigen Böden welche aus Gesteinen mit einem erhöhten Anteil an Mineralien wie Feldspat und Illit entstanden sind, einen hohen

Gehalt an Kalium (Huggett 2006). Die gute Verfügbarkeit von Kalium für die Weinrebe im Boden führt zu einem Anstieg des pH-Wertes und des Zuckergehalts im Traubenmost (Ramos und Romero 2017). Böden die aus Kalkstein entstanden sind und einen höheren Anteil an Calcium aufweisen, beeinflussen die Rebe durch die Verbesserung der Bodenstruktur und können somit u.a. das Wachstum der Rebwurzeln fördern (White 2003). Durch einen erhöhten Anteil an Aktivkalk kann es zur Beeinträchtigung der Umwandlung von organischer Substanz zu mineralischem Stickstoff kommen (van Leeuwen et al. 2018). Stickstoff ist zum Großteil in organischer Form im Boden vorhanden und ist für die Weinrebe nicht verfügbar, bei der Umwandlung zu mineralischem Stickstoff spielen Mikroorganismen (Nitrosomonas und Nitrobacter) im Boden eine entscheidende Rolle (van Leeuwen et al. 2018). Stickstoff ist ein wichtiger Mineraldünger bzw. Makronährstoff im Weinbau und beeinflusst die Wüchsigkeit, den Ertrag und die Beerengröße, sowie primäre und sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe (Keller 2010). Diese Effekte zeigen den direkten Einfluss der mineralischen Bodenbestandteile auf Rebe und indirekt auf den Wein.

Organische Substanz:

Die organische Substanz besteht aus allen tierischen und pflanzlichen Stoffen und deren Umwandlungsprodukte. Die organische Substanz lässt sich grob in Frischsubstanz und Humus einteilen. Humus ist die tote organische Substanz pflanzlicher und tierischer Herkunft (Kadisch und Müller 2019).

Der Humusgehalt ist wichtig für die Aggregatstabilität, Wasserspeicherfähigkeit, Austauschkapazität des Bodens und um eine gute Bodenstruktur aufrechtzuerhalten (Maier 2005). Man unterscheidet zwischen Nährhumus und Dauerhumus. Nährhumus sind leicht abbaubare organische Stoffe aus pflanzlicher Herkunft, die schnell durch biologische Prozesse umgesetzt werden. Dauerhumus ist für die Bodenfruchtbarkeit von höherer Bedeutung. Er kann wichtige Pflanzennährstoffe binden und ist Bestandteil der Ton-Humus-Komplexe, eine wasserfeste Bindesubstanz des Bodens (Kadisch und Müller 2019). Die organische Ausgangssubstanz wird durch Mikro- und Makroorganismen zu Huminstoffen (Humifizierung) und/oder zu anorganischen Endprodukten (Mineralisierung) umgewandelt (Maier 2005). Der Humusgehalt sollte zwischen 1,5% (Sandböden) und 2-3% (Ton- und Lehmböden) liegen (Hofmann 2014; Maier 2005).

Bodenleben:

Bei den Bodenorganismen unterscheidet man zwischen Bodenflora und Bodenfauna. Während die Bodenfauna alle Tiere im Boden erfasst, ist die Bodenflora die Gesamtheit aller Pflanzen, Bakterien, Pilze, Algen und Flechten (Kadisch und Müller 2019).

Bakterien (s.g. Knöllchenbakterien der Leguminosen) spielen eine wesentliche Rolle im Stickstoffhaushalt. Flechten und Algen sind vor allem bei der Verwitterung von Gesteinen von Bedeutung. Pilze können sowohl negative (z.B. Wurzelschimmel) als auch positive (Mykorrhizen) Auswirkungen auf die Wurzeln der Rebe haben (Kadisch und Müller 2019). Auch die im Boden lebenden Tiere zeigen negative (z.B. Nematoden) aber vor allem positive Einflüsse auf das Ökosystem. Regenwürmer z.B. sind wichtige Zerkleinerer organischer Substanz und unerlässlich für die Verbesserung der Bodenstruktur (Krümmelbildung, Dränierung, usw.) (Hofmann 2014; Kadisch und Müller 2019).

## 2.3 Bodenpflegemaßnahmen

Ziel der Bodenpflege ist die Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit, zusammen mit der Düngung soll die standortspezifische Leistung eines Bodens erhalten werden. Die Bodenpflege beschreibt die Anwendung verschiedener Verfahren, welche die biologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens beeinflussen. Bodenpflegemaßnahmen haben einen starken Einfluss auf das Ökosystem Boden, sowie auf das Wachstum und allen anderen Lebensprozessen der Rebe. Grundsätzlich lässt sich zwischen offenem Boden (mechanischer Bodenbearbeitung) und Begrünung unterscheiden (Bauer et al. 2019).

### 2.3.1 Mechanische Bodenbearbeitung (Offener Boden)

Mechanische Bodenbearbeitung dient zur Unkrautbekämpfung, Störung bodengebürtiger Krankheiten und Schädlinge, Reduktion der Oberflächenversauerung, Beschleunigung der Bodenerwärmung, Reduzierung der Stickstoff Immobilisierung, Reduktion der Schwermetallanreicherung im Oberboden, Einarbeitung von Düngern und zur Beseitigung von Verdichtungen (Blanco-Canqui und Wortmann 2020). Betrachtet man den letzten Punkt dieser Aufzählung, merkt man schnell welchen stark negativen Kreislauf stark intensivierte Bodenbearbeitung zur Folge haben kann. Bodenbearbeitung durch schwere Maschinen führt zu Verdichtung, Erosion und Abnahme des Humusgehalts (Kadisch und Müller 2019).

Deshalb sollten Bodenbearbeitungsmaßnahmen in der Fahrgasse nur kurzfristig und unter bestimmten Bedingungen durchführt werden (Bauer et al. 2019).

Durch Bodenbearbeitung kommt es zu Veränderungen bei der Zusammensetzung des mikrobiellen Bodenlebens. Während die Aktivität der anaeroben Bakterien zunimmt, sind bodengebürtige Pilze von der Bodenbearbeitung weniger stark beeinflusst (Calderón et al. 2001). Die gesteigerte Aktivität der anaeroben Bakterien führt zur Zunahme der Mineralisation von organischem Stickstoff, welcher durch Störung der Bodenaggregate verfügbar wird und mit Zunahme der Mineralisation kommt es zur Akkumulation und Denitrifikation von Nitrat (Calderón et al. 2001). Andere Arbeiten zeigen, wie sich eine zu häufig durchgeführte Bodenbearbeitung auf die Oxidation von Bodenaggregate und der Abnahme der organischen Substanz im Boden auswirkt (Six et al. 1999). Auch der Oberflächenabfluss und die Auswaschung von anorganischem Stickstoff durch starke Regenereignisse kann durch intensive Bodenbearbeitung begünstigt werden (Steenwerth und Belina 2010; García-Díaz et al. 2017).

Mehrere Studien haben gezeigt, welche Auswirkungen moderat durchgeführte mechanische Bodenbearbeitung auf die Physiologie der Weinrebe hat. Die bessere Verfügbarkeit von Stickstoff im Boden führt zu höheren Stickstoffgehalt in den Blättern sowie im Saft der Beeren. Auch der Ertrag und das Rebschnittholzgewicht zeigen bei mechanischer Bodenbearbeitung höhere Werte im Vergleich zur begrünten Varianten (Guerra und Steenwerth 2012). Andere Versuche bei vollentwickelten Reben zeigen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der generativen Entwicklung der Rebe und geringe Effekte auf das vegetative Wachstum und Wasserkonkurrenz durch mechanische Bodenbearbeitung (Steenwerth et al. 2013; Steenwerth et al. 2016).

### 2.3.2 Begrünungen

Der Artenreichtum des oberirdischen Ökosystems (Begrünung) beeinflusst die Diversität der Bodenorganismen und je größer die Artenvielfalt der Bodenorganismen ist desto stabiler wird das Ökosystem Boden gegenüber störenden Einflüssen (Maier 2005).

Untersuchungen von Bodenmanagementsystemen in Südfrankreich haben gezeigt, dass sich eine Dauerbegrünung positiv auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff und die mikrobielle Biomasse im Boden auswirkt, wobei dieser Effekt auf nicht kalkhaltigen steinigen Böden besonders ausgeprägt war (Salomé et al. 2016). Ein anderer Versuch in Sizilien, Italien, zeigte wie Begrünungen mit Leguminosen zwar die mikrobielle Biomasse im Boden erhöhen, ohne jedoch die Kohlenstoff Sequestration zu verbessern. Eine Erklärung dafür ist die durch falsche Bewirtschaftung entstandene Bodendegradation und der erhöhte Gehalt an organischen Kohlenstoff in bestimmten, meist flachen Weingartenlagen (Novara et al. 2020). In der selben Studie konnte eine Förderung der Biodiversität der Bodenbakterien durch eine Dauerbegrünung beobachtet werden, während es bei einer Begrünung und reduzierten Bodenbearbeitung zu einer einseitigen Etablierung von Mykhorriza Pilzen kommt (Novara et al. 2020). Neben der beschriebenen Förderung der Mikroorganismen im Boden, kommt es auch zu einer Förderung der Regenwurmpopulation durch gemulchte Begrünungen in den Fahrgassen (Schreck et al. 2012).

Die Begrünungen spielen auch für den Nährstofhaushalt im Boden (v.a. Stickstoff) eine wichtige Rolle. Nährstoffkreisläufe im Boden werden durch Begrünungen beeinflusst, weil sie zur Fixierung von atmosphärischem Stickstoff ($N_2$), Bindung von Nährstoffen, Verhinderung der Auswaschung und Erosion von Nährstoffen beitragen (Blanco-Canqui et al. 2015). Das C/N Verhältnis der Begrünungsmischungen zeigt, wie gut Begrünungen Stickstoff binden und anorganischen Stickstoff bereitstellen können (Finney et al. 2016).

Für die Nährstoffversorgung ist eine gute Wasserverfügbarkeit unersetzlich (Keller 2010). Begrünungen in Weingärten können dazu führen, dass Reben mit ihren Wurzeln in tiefere Bodenschichten vordringen müssen um Wasser aus bis zu 3m Tiefe zu erhalten (Tomaz et al. 2017). Untersuchungen in Weinbauregionen im mediterranen Klima mit einer durchschnittlichen Niederschlagsmenge von 400 mm während der Vegetationsperiode haben gezeigt, dass eine Begrünung auf max. 30% der Fläche (bzw. jede zweite Fahrgasse) keine negative Effekte auf die vegetative und generative Entwicklung der Rebe hatte, beziehungsweise können bei tiefgründigen Böden (>2m) alle Fahrgassen begrünt sein (Delpuech und Metay 2018). Je nach Pflanzenart wirkt sich die Begrünung positiv auf die

Befahrbarkeit der Weingärten aus, da sie die Bodenstruktur verbessern und somit Bodenverdichtungen vorgebeugt werden (Ferrero et al. 2005; Blanco-Canqui et al. 2015). Zusätzlich absorbiert die Begrünungen die kinetische Energie der Regentropfen und verbessern die Infiltration der Niederschläge und führt zu weniger Oberflächenabfluss von Regenwasser und Erosion (Gaudin et al. 2010; Leonard und Andrieux 1998; Blanco-Canqui et al. 2015). Die verbesserte Infiltration führt einem besseren Ableiten des Regenwassers in tiefer Bodenschichten und hat große Bedeutung in Gebieten in denen der Großteil der Niederschläge in kurzen Perioden stattfindet (Garcia et al. 2018). Bei Böden mit einer Neigung zur Staunässe, können das Wachstum von Begrünungspflanzen zu einer Aufnahme von einem Wasserüberschuss und einem Ausgleich von Temperaturunterschieden führen und somit das Wachstum der Reben durch eine verbesserte Nährstoffaufnahme fördern (Blanco-Canqui et al. 2015).

Die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe durch die Begrünung, kann negative und positive Auswirkungen auf die Weinrebe haben. Einflüsse auf das vegetative Wachstum, das Beerengewicht, die Beerengröße, die Anzahl an Trauben und den Ertrag, sowie auf die Qualität der Beeren konnte in mehreren Versuchen beobachtet werden (Guerra und Steenwerth 2012; Monteiro und Lopes 2007). Die Nachteile durch Begrünungen bezgl. Traubenqualität und Traubenertrag konnten in eine Studie durch Düngung mit biologischen und industriellen Abfällen ausgeglichen werden und führten auch zu einer qualitativen Verbesserung t der Böden und zu einer besser balancierten Nährstoffstoffversorgung der Weinreben, als bei Bewirtschaftungsvarianten mit offenem Boden und mineralischem Dünger (Messiga et al. 2016).

Begrünungen haben nicht nur Einfluss auf den Boden, sie können auch das Mikroklima in der Laubwand der Reben beeinflussen. Wie oben bereits beschrieben kann es durch die Begrünung und der damit entstandenen Konkurrenz Situation zu einem verringerten vegetativen Wachstum, einer besseren Durchlüftung der Traubenzone und einer reduzierten Zellstreckung in vegetativen Pflanzenorganen kommen, wodurch der Infektionsdruck von pathogene Pilzen, wie *Uncinula necator* oder *Botrytis cinerea* reduziert werden kann (Coniberti et al. 2018; Valdés-Gómez et al. 2011). Zusätzlich kommt es durch die Begrünungen zu einer Reduktion der Beerengröße und lockerer Traubenstruktur wodurch ein Aufplatzen und eine Infektion mit Pilzsporen verhindert wird (Coniberti et al. 2018).

Bei der Begrünung kann zwischen Teilzeitbegrünung und Dauerbegrünung unterschieden werden (Bauer et al. 2019).

Teilzeitbegrünung:

Bei Teilzeitbegrünungen wird grundsätzlich zwischen Sommer- (Frühjahr) und Winterbegrünung unterschieden. Sommerbegrünungen werden im März bis Juni je nach Wasserverfügbarkeit eingesät. Als Begrünungspflanzen eignen sich: Senf, Phacelia, Buchweizen, Sommerraps, Ölrettich, Sommerwicke, Platterbse, Ackerbohne und diverse Kleearten, sowie Winter- oder Sommerweizen. Bei der Winterbegrünung erfolgt die Einsaat Mitte August bis Anfang September. Winterraps, Winterrüben, Winterweizen, Roggen, Wintergerste, Internatklee, Wintererbse sind eine kleine Auswahl an für Winterbegrünungen geeignete Pflanzen. Der Aufwuchs der Begrünungen muss bei zunehmenden Wasserbedarf der Rebe (Ende Mai-Anfang Juni) gestört bzw. umgebrochen werden (Bauer et al. 2019).

Temporäre Begrünungen in den Fahrgassen der Weingärten schützt den Boden vor Erosion, fördert die biologische Vielfalt und erhöht den organischen Kohlenstoffgehalt im Boden, während das Risiko von unerwünschtem Wasserstress bei der Rebe unter trockenen Bedingungen im Vergleich zur Dauerbegrünung minimiert wird (Guzmán et al. 2019).

Dauerbegrünung:

Dauerbegrünung oder permanente Begrünung dient zur Erhaltung der Bodenstruktur und zum Schutz vor Erosion. Bei der Dauerbegrünung wird der Aufwuchs mehrmals im Jahr gemäht oder gemulcht, aber nicht umgebrochen. Dadurch können Bodenbearbeitungsmaßnahmen eingespart werden, Bodenverdichtungen können vermieden werden und die Fahrgassen können nahezu jederzeit befahren werden. Darüber hinaus kommt es bei dauerbegrünten Flächen zu geringen Schwankungen der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur. Dauerbegrünungen sind nicht für alle Bodentypen und klimatischen Bedienungen geeignet. Das Hauptproblem der Dauerbegrünung ist die Wasserkonkurrenz bei geringen Niederschlagsmengen. Unter bestimmten Faktoren (Bodentyp, Humusgehalt, Nährstoffversorgung u.a.) entwickeln sich Weingärten bei Niederschlagsummen von 400 bis 500mm Jahresniederschlag auf dauerbegrünten Flächen besser als auf offenen (Redl et al. 1996).

Begrünungspflanzen müssen daher immer Standort spezifisch ausgewählt werden (Garcia et al. 2020b). Pflanzen mit einer höheren Durchwurzelungsrate sind ungeeignet für einen Standort mit begrenzter Wasserverfügbarkeit. Es kann jedoch häufig ein positiver

Zusammenhang zwischen der Blattfläche und dem Bedeckungsgrad der Pflanzen beobachtet werden. Diese Eigenschaften sind wichtig um Erosion durch den Abfluss von Oberflächenwasser zu verhindern. Pflanzen mit erhöhter Trockenmasseproduktion und flachen Wurzelwachstum, haben öfters eine geringer Bestandsdichte, zeichnen sich jedoch durch geringere Wasserkonkurrenz aus (Garcia et al. 2020b).

Dauerbegrünungen können bei einer mehrjährigen Nutzung zur Vergrasung neigen und somit die Pflanzenvielfalt reduzieren.(Maier 2005). Ausgewogene Dauerbegrünungen setzen sich aus Klee-/Grasmischungen zusammen (Bauer et al. 2019; Maier 2005). Die Vegetationsbedeckung hängt stark von den Pflanzenarten und den klimatischen Bedingungen ab. Gesäte Begrünungen zeigen jedoch größere jährliche Schwankungen bei Blattflächen als spontane Arten, hier zeigen sich vor allem jahreszeitlich Unterschiede. Die Biomasseproduktion unterliegt geringen zeitlichen Schwankungen und ist in erster Linie von der Pflanzenart abhängig (Garcia et al. 2020a).

## 2.3. Unterstockpflegemaßnahmen

Bei den Unterstockbearbeitungsmaßnahmen lässt sich grundsätzlich zwischen mechanischer Bearbeitung, chemischer Behandlung und Begrünung (gemulcht) unterscheiden.

### 2.3.1. Mechanische Unterstockbearbeitung

Mechanische Unterstockbearbeitung ist die älteste und traditionellste Methode um den Unterstockbereich der Rebe von unerwünschten Beikräutern zu befreien (Guerra und Steenwerth 2012).. Die mechanische Bearbeitung im Unterstock führt zu einer schnelleren Umsetzung von organischer Substanz und zu einer höheren Verfügbarkeit von Stickstoff für die Weinrebe (Rodriguez-Lovelle et al. 2000). Die mechanische Unterstockbearbeitung sollte daher an den Stickstoff Bedarf der Rebe angepasst werden. Nachteilig zu betrachten ist auch die Gefahr von Stockverletzungen durch zu Tiefe Bearbeitung. Diese Verletzungen können Eintrittspforten für phytopathogene Pilze sein (Lanini et al. 2011; Geyrhofer 2018). Weiters können durch Bewegungen des Bodens Samen unerwünschter Beikräutern an die Oberflächen kommen und sich dort wieder entwickeln und etablieren (Barberi 2002).

In dieser Arbeit werden Flachschar (Stockräumgeräte) und Rollhacke zu mechanischen Unterstockbearbeitung, sowie Unterstockmulcher zu Regulierung der Unterstockbegrünung verwendet.

Flachschar:

Flachschar-Stockräumgeräte besitzen ein flaches Messer, welches die Wurzeln der Beikräuter durchtrennt. Die Wurzeln der Beikräuter werden nicht herausgezogen, wodurch sie bei feuchten Bedingungen raschen wieder anwachsen. Wie auch bei anderen mechanischen Unterstockbearbeitungsgeräten ist ein Risiko für Erosion gegeben. Darüber hinaus kommt es bei älteren Rebstöcken häufig zu einer Inselbildung von Beikräutern um den Rebstock und bei nicht fachgerechter Verwendung zu Verletzungen und Ausfällen von Rebstöcken (Geyrhofer 2018).

Rollhacke:

Der Einsatz der Rollhacke als Unterstockbearbeitungsgerät ist relativ neu. Das Arbeitsprinzip und die Beliebtheit in der Praxis ist sehr ähnlich dem Scheibenpflug. Anstelle der Scheiben bewegen sich zwei-drei gebogene Hackzinken seitlich entlang der Zeile am Boden. Durch die Krümmung der Hackenzinken kommt es bei der Bearbeitung zu einer reduzierten Rinnenbildung im Vergleich zum Scheibenpflug. Dadurch kann die Erosionsgefahr minimiert werden. Bei verhärteten Böden mit hohen Bewuchs nimmt nimmt die Effizienz dieser Methode deutlich ab (Walg s.a.).

Unterstockmulcher:

Unterstockmulcher werden häufig als Kombigeräte für die Gassen- und Unterstockpflege eingesetzt. Es gibt aber auch separat anzubauende Unterstockschlegelmulcher, die meist im Zwischenachsbereich ähnlich den Flachschar Geräten montiert werden (Walg s.a.). Unterstockschlegelmulcher besitzen eine rotierende Welle (bis 2.500 min–1) mit Schlegel-werkzeugen, die Beikräuter im freien Schnitt abschlagen. Dadurch können hoch gewachsene Beikräuter, wie Disteln oder Brennesseln effektiv unterdrückt werden (Geyrhofer 2018; Walg s.a.).

### 2.3.2 Chemische Unterstockbehandlung

Herbizide sind Beikrautbekämpfungsmittel, welche Pflanzen total oder selektiv abtöten können. Der Einsatz von Herbiziden sollte nur gezielt im Unterstockbereich und spezifisch für die entwickelte Pflanzengesellschaft erfolgen. Die chemische Unterstockpflege hat eine Reihe von Vorteilen. Dazu gehört die hohe Flächenleistung bei geringen Kostenaufwand, die rasche Entwicklungshemmung, der gute Wirkungsgrad, die Möglichkeit der selektiven Bekämpfung und der geringe Energieaufwand (Bauer et al. 2019).

Der Einsatz von Herbiziden im Weinbau ist umstritten (Geyrhofer 2018). Untersuchungen haben gezeigt, dass es durch den Einsatz chemischer Planzenschutzmittel wie Flazasulfuron, Glufosinate und Glyphosate zur einer Veränderung der Mykorrhisierung von Rebenwurzeln, der Zusammensetzung der Mikroorganismen im Boden, der Regenwurmaktivität und den Nährstoffgehalt in bestimmten Organen der Reben kommen kann (Zaller et al. 2018). Vor allem die Reduktion der Besiedlung der Rebwurzel mit Mykorrhizapilzen im Vergleich zu einer mechanischen Kontrolle der Beikräuter zeigt sich bei Herbizid Behandlungen am deutlichsten (Zaller et al. 2018). Mykorrhizapilze spielen eine wichtige Rolle bei der Nährstoffversorgung, der Wasserstress toleranz und dem Schutz vor Pilzkrankheiten (Trouvelot et al. 2015).

. Neben dem Effekt auf Mykorrhizapilze konnte ein negativer Effekt auf die Fortpflanzung von Regenwürmern durch den Einsatz von Glyphosat beobachtet werden (Stellin et al. 2018).

Untersuchungen zeigten auch eine Kontamination mit Pestiziden von Grund- und Oberflächengewässern, wobei Herbizide hierbei den Großteil der Belastung ausmachen (Herrero-Hernández et al. 2017).

### 2.3.3 Begrünungen im Unterstockbereich

Aus biologischer Sicht ist die Etablierung einer Unterstockbegrünung die beste Variante den Unterstockbereich im Weingarten zu pflegen. Die Begrünung dient als Bodenbedeckung, fördert die Biodiversität, verhindert die Auswaschung von Nährstoffen und verbessert das Angebot an Blütenpflanzen und Kräutern (Hofmann 2014).

Begrünungen im Unterstockbereich können entweder aufwendig eingesät, gepflanzt oder durch natürlichen Aufwuchs entstehen. Bei der Einsaat werden vor allem niedrig wachsende Pflanzen, wie Leguminosen oder Trockengräsern (siehe Tabelle 1) verwendet (Hofmann 2014). Gräserischungen eigenen sich am besten, um ungewünschte Beikräuter zu unterdrücken, müssen aber durch ihre starke Wasserkonkurrenz an die klimatischen Bedingungen des Standorts angepasst ausgewählt werden. Reine Kleemischungen im Unterstock haben oft einen lückenhaft Bestand und können sehr schnell von spontanen Begrünungen verdrängt werden (Dreisiebner-Lanz s.a.). Im Vergleich mit einer spontanen bzw. natürlichen Unterstockbegrünung kann durch eingesäte, niedrig wachsend Arten das Mulchen reduziert werden (Hofmann 2014).

Neben der Einsaat von Unterstockbegrünungen gibt es auch die Möglichkeit der Pflanzung von Jungpflanzen. Tabelle 1 zeigt eine kleine Auswahl an winterharten Pflanzen, welche für Versuche in Unterstockbegrünungen genutzt wurden. Erdbeere (Abbildung 1), Pfennigkraut und Gundelrebe haben in Versuchen gezeigt, dass sie sich in Weingärten gut entwickeln können. Probleme gibt es häufig mit der Etablierung eines spontanen Bewuchses gleichzeitig zur Begrünungspflanze (Dreisiebner-Lanz s.a.).

***Abbildung 1:*** Erdbeeren als Unterstockbegrünung (Dreisiebner-Lanz s.a.).

***Tabelle 1:*** *Auflistung von Pflanzen für Unterstockbegrünungen (Dreisiebner-Lanz s.a.; Hofmann 2014).*

| **Begrünungen gesät:** | **Begrünungen gepflanzt:** |
|---|---|
| Weißklee var.Haifa | Kleines Habichtskraut |
| Arabischer Schneckenklee | Kriechendes Bohnenkraut |
| Gelb-, Hopfenklee | Thymian |
| Fadenklee | Erdbeere |
| Erdklee | Gundelrebe |
| Schaf-Schwingel | Pfennigkraut |
| Rot-Schwingel | |
| Einjährige Rispe | |
| Zwiebel-Rispengras | |

Untersuchungen mit *Festuca rubra* (Rotschwingel) im Unterstockbereich zeigten im Vergleich zu einer Herbizidapplikation eine Reduktion des vegetativen Wachstums der Weinreben, die in Regionen mit ausreichender Wasserversorgung von Vorteil sein kann. Unterstockbegrünungen können aber auch die Verfügbarkeit von Stickstoff negativ beeinflussen (Hickey et al. 2016). Eine andere Studie untersuchte die Auswirkungen der Pflanzen *Medicago sativa* (Luzerne), *Festuca arundinacea* (Rohrschwingel), *Raphanus sativus* (Garten-Rettich) und *Cichorium intybus* (Gemeine Wegwarte) unter natürlicher Aufwuchs als Begrünung im Unterstockbereich. Die Gemeine Wegwarte hatte den stärksten Effekt auf das vegetative Wachstum und führte zu geringeren Gehalt an hefeverfügbaren Stickstoff im Saft der Beeren. Rohrschwingel und die natürliche Begrünung zeigten die höchsten negativen Werte für das Stamm-Wasser-Potential und damit die stärkste Wasserkonkurrenz (Chou und Vanden Heuvel 2019). In warmen und trockenen mediterranen Regionen zeigte *Trifolium fragiferum* (Erdbeerklee) gute Ergebnisse hinsichtlich der Verdrängung unerwünschter Beikräuter ohne größere Einflüsse auf die Entwicklung der Rebe in Weingärten mit Bewässerung (Abad et al. 2020).

Die Etablierung einer natürlichen Begrünung im Unterstockbereich ist wenig aufwendig und daher auch weit verbreitet. Bei der natürlichen Begrünung wird der spontane Aufwuchs im Unterstockbereich gemulcht bzw. gemäht und kurzgehalten. Das häufige Mulchen der

Begrünungen kann zu einer Verfilzung der Grasnarbe führen und der Etablierung von konkurrenzstarken Pflanzen wie Quecke, Distel oder Brennnessel (Hofmann 2014).

## 2.4 Bodenenzyme

Enzyme sind spezielle Proteine, die als Biokatalysatoren fungieren. Sie können eine Vielzahl unterschiedlicher Reaktionen starten bzw. beschleunigen. Enzyme sind sehr spezifisch, jedes einzelne Enzym ist für eine bestimmte Reaktion bzw. für ein bestimmtes Substrat verantwortlich. Die Effektivität dieser Biokatalysatoren ist stark vom pH-Wert einer Lösung abhängig (Neubauer 2019).

Bodenenzyme sind wichtige Bodenkomponenten, die eng mit den physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens verbunden sind. Menschliche Aktivitäten, landwirtschaftliche Praktiken und Umweltverschmutzung beeinflussen ihre Quantität und Qualität im Boden stark (Karaca et al. 2011). Enzyme können die Aktivität des mikrobiellen Lebens widerspiegeln und eine große Anzahl an Reaktionen im Boden katalysieren. Die Untersuchung der Enzymaktivität kann als nützliches Instrument zur Evaluierung mikrobieller Diversität, Beobachtung biochemischer Prozesse, Untersuchung mikrobieller Ökologie und der Bereitstellung von Indikatoren für Bodenqualität dienen. Das durch die Enzymaktivität untersuchte mikrobielle Bodenleben spielt eine entscheidende Rolle im Kreislauf der Elemente im Boden, beim Abbau von organischen Schadstoffen, der Stabilisierung und Formierung der Bodenstruktur sowie beim Wachstum der Kulturpflanzen. Um die mikrobielle funktionelle Vielfalt beschreiben zu können benötigt es die Untersuchung einer Vielzahl an Enzymen (Burns und Dick 2002).

Die Messungen einzelner spezifischer Enzyme ist ein angemessener Ansatz, um bestimmte Reaktionen im Boden zu beschreiben (Burns und Dick 2002). Der Zustand und die Bodengesundheit kann durch Analyse der vorherrschenden Bodenenzyme zusammen mit mikrobieller Biomasse (organsicher Substanz), Kohlenstoffgehalt, Nährstoffkreisläufe, Biodiversität, Fauna und Flora interessante Bioindikatoren darstellen, welche Information über die Bodengesundheit und Zustand bereitstellen können (Killham und Staddon 2002).

Enzyme im Boden haben ihren Ursprung meist in pflanzlicher Biomasse, Pilze und Bakterien. Die Aktivität der einzelnen Enzyme ist abhängig davon an welcher Stelle diese Enzyme vorkommen können:

- Intrazellulär in aktiven lebenden Zellen
- In ruhenden oder toten Zellen

- In den Rückständen von Zellen
- Extrazellulär in der Bodenlösung
- Absorbiert an anorganische Kolloide
- Assoziiert mit Humus Moleküle (Burns 1978)

Intrazelluläre Enzyme in aktiven lebenden Zellen sind hauptverantwortlich für die mikrobielle funktionelle Vielfalt in Böden. Diese sind anfälliger für anthropogene Aktivitäten. Extrazelluläre Enzyme welche an Ton und organische Komponenten gebunden sind haben keine Verbindung mit den Mikroorganismen, durch die sie zuvor synthetisiert wurden. Ihre Reaktionen sind daher normalerweise langsamer. Intrazelluläre Enzyme hingegen reagieren empfindlicher auf Veränderungen im Boden (Burns 1978).

In dieser Arbeit werden die extrazellulären, hydrolytischen Enzyme Saure Phosphatase (AP), Leucin Aminopeptidase (LAP) und Beta Glucosidase (BG) untersucht.

### 2.4.1 Saure Phosphatase

Phosphatasen sind eine Gruppe von Enzymen, welche die Hydrolyse von Estern und Anhydriden der Phosphorsäure katalysieren können. Phosphatasen sind nicht nur gute Indikatoren für die Bodenfruchtbarkeit, ihre Analyse berücksichtigt sowohl chemische als auch physikalische Parameter im Bodensystem (Dick et al. 2000). In Pilzen können sich diese Phosphatasen im periplasmatischen Raum, in der Zellwand, in den Vakuolen und im Kulturmedium befinden. Saure und alkalische Phosphatasen sind Formen der aktiven Phosphatase. Alkalische Phosphatase kommt in Wurzeln hauptsächlich nach eine Kolonisation mit Mykorrhizen vor und wurden als Marker für die Analyse der symbiotischen Effizienz der Wurzelkolonisation untersucht (Tisserant et al. 1993). In Bodenökosystemen wird angenommen, dass diese Enzyme in Phosphorzyklen eine entscheidende Rolle spielen. Es wurde gezeigt, dass die Menge an saurer Phosphatase, die von Pflanzenwurzeln ausgeschieden wird, sich zwischen Pflanzenarten und -sorten sowie zwischen Pflanzenmanagementpraktiken unterscheidet (Izaguirre-Mayoral et al. 2002; Wright und Reddy 2001). Pflanzenarten, wie zum Beispiel Leguminosen, sondern mehr Saure Phosphatasen im Vergleich zu Getreidearten ab, vor allem zu Beginn der Pflanzenkeimung. Dies kann wahrscheinlich auf einen höheren P-Bedarf von Leguminosen beim Wachstum zurückzuführen sein und der Abnahme der Saure Phosphatase Absonderung von Getreide bei Zunahme des Gehalts an anorganischen Phosphor (Yadav und Tarafdar 2001).

### 2.4.2 Beta Glucosidase

Beta-Glucosidase ist ein in Böden vorherrschendes Enzym. Das Enzym hydrolysiert glucosidische Verbindungen (Martinez und Tabatabai 1997; Esen 1993). Das Endprodukt ist Glucose, eine wichtige Kohlenstoff Energiequelle für Mikroben im Boden (Martinez und Tabatabai 1997; Esen 1993).

Beta-Glucosidase kann die biologische Aktivität der Vergangenheit und die Fähigkeit des Bodens zur Stabilisierung der organischen Masse widerspiegeln. Veränderung in der Enzymaktivität kann verwendet werden, um Managementeffekte auf Böden festzustellen (Dick et al. 1996; Bandick und Dick 1999). Das Enzym Beta-Glucosidase reagiert sehr empfindlich auf Veränderungen des pH-Werts und der Bodenbewirtschaftungspraktiken (Dick et al. 1996; Bandick und Dick 1999). Beta-Glucosidase zeigt auch eine hohe Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallkontaminationen (Deng und Tabatabai 1995).

### 2.4.3 Leucin Aminopeptidase (LAP)

Leucin Aminopeptidasen sind Proteasen mit breiter Substratspezifität, die jedoch vorzugsweise N-terminale Reste von Proteinen und Peptiden spalten (Matsui et al. 2006). LAP wird hauptsächlich von Bakterien synthetisiert und ist am Zerfall von Partikeln beteiligt, die aus lebenden Organismen oder nicht lebenden Materialien bestehen. Unter der Oberfläche wird im Allgemeinen eine hohe Aminopeptidase-Aktivität festgestellt, hauptsächlich aufgrund der guten Versorgung mit labiler, frischer organischer Substanz (Caruso 2010).

## 2.5 Bodenbiologische Aktivität

Landwirtschaftliche Praktiken haben Einfluss auf bodenbiologische Aktivitäten und somit auch auf die Aktivität der Bodenenzyme. Änderungen der mikrobiologisch-biochemischen Bedingungen im Boden sind schnell und treten in kurzer Zeitspanne auf. Bodenenzyme, die im Wesentlichen von Bodenmikroorganismen stammen, sind daher möglicherweise den physikalischen und chemischen Qualitätsparametern des Bodens vorzuziehen. Physikalische und chemische Qualitätsparameter sind oft zeitaufwendiger und von geringer wirtschaftlicher Effektivität (Karaca et al. 2011).

Die Zusammensetzung der Bodenmikroorganismen (u.a. Bodenbakterien) in Weingartenböden sind stark regionsspezifisch und in folgender Reihenfolge abhängig von der Höhenlage, dem organischen Kohlenstoff, Hangneigung, Bodentextur, Bodentyp, Niederschlag, pH-Wert, Breitengrad, Tongehalt, Stickstoffgehalt und Kohlenstoffgehalt. Diese regionsabhängigen Parameter zeigen das Potential der Gemeinschaft der

Bodenmikroorganismen als Indikatoren zur Verknüpfung Terroir-Konzepts mit biotischen Bestandteilen im Boden auf (Burns et al. 2015).

Darüber hinaus wird das mikrobielle Bodenleben durch Bodeneigenschaften beeinflusst, welche durch verschiedenste weinbauliche Praktiken beeinflusst werden können. Versuche haben gezeigt, dass unterschiedliche Managementpraktiken unterschiedlich zu spezifischen Bodentypen und bestimmten Region die Bodengemeinschaft beeinflussen. Würde man nur die Bodenbearbeitungsvarianten berücksichtigen, könnten bestimmte Information über mikrobielle Bodenaktivität übersehen werden (Burns et al. 2016).

Begrünungen können das mikrobielle Bodenleben durch ihre Beiträge zum labilen Bodenkohlenstoff und organischer Bodensubstanz beeinflussen. Die mikrobiellen Ressourcen des Bodens werden durch unterschiedliche Wurzelexsudation und Feinwurzelumsatz erhöht. Pflanzen-Boden-Mikroben-Wechselwirkungen sind in der Rhizosphäre besonders ausgeprägt, wo die Zusammensetzung der Bodenmikroben-Gemeinschaft häufig pflanzenspezifisch ist und sich vom Schüttboden unterscheidet. Diese Wechselwirkungen zwischen Pflanzen, Boden und Mikroben ermöglichen es Begrünungen, den Boden, die mikrobiellen Gemeinschaften im Boden und mikrobiell vermittelte Bodenprozesse deutlich zu beeinflussen. Diese Wechselwirkungen unterscheiden sich auch hinsichtlich der Zusammensetzung der Pflanzengattungen, während die Bodenbearbeitung sich eher schwach auf das Bodenmikrobiom auswirkt. Dieser Einfluss ist abhängig vom Bodentyp und der Bewirtschaftungsweise (biologische oder konventionell) (Burns et al. 2016).

# 3. Material und Methode

***Tabelle 2**: Übersicht Material und Methode*

| Versuchsumgebung | Varianten | Analytische Methoden | Statistik |
|---|---|---|---|
| Langenlois, Nö<br>Riede Rosenhügel<br><br>**Pinot Noir**<br>Klon:<br>1-84 GM (18 GM) | Unterstockbehandlungs-Varianten<br><br>**I) Begrünung/gemulcht**<br>**II) Rollhacke**<br>**III) Stockräumer**<br>**IV) Herbizid**<br>**V) Kontrolle** (Begrünung nicht gemulcht)<br><br>Begrünungen spontan<br><br>4 Reihen pro Variante | **-)Bodenenzyme**<br>**-)Bodenfeuchte**<br>**-)Vegetation Unterstock**<br>**-)Vegetatives Wachstum**<br>**-)Photosysnthese Leistung**<br>**-)Reifeparamter** (Brix° und Gesamtsäure)<br>**-) Ertrags- und Beerengewichts-messungen** | **Ein- und zweifaktorielle Varianzanalyse** (inkl. Shaprio Wilk und Levene Test)<br>**Lineare Regressionsanalyse**<br>**Pearson Korrelationsanalyse**<br>Signifikanzniveau α=0,05<br><br>Analysen durchgeführt mit 'R' und MS Excel |

## 3.1 Versuchsumgebung und klimatische Bedingungen

Die Untersuchungen in der aktuellen Arbeit wurden 2019 durchgeführt. Als Versuchsumgebung diente eine Versuchsfläche die in Kooperation von den niederösterreichischen Landesweingütern, der Weinbauschule Krems und der Universität für Bodenkulturin in Langenlois bewirtschaftet wird. Langenlois ist ein Weinbauort im Weinbaugebiet Kamptal. Die Witterung in der Vegetationsperiode wird durch das trockene und warme pannonische Klima aus dem Osten und durch das kalte und feuchte Wetter aus dem nordwestlichen Waldviertel beeinflusst. Die Böden der Hügel des Kamptals sind durch das Urgestein, dem „Gföhler Gneis“ geprägt. Im Flachland dominieren eiszeitlicher Löß und Lehmböden (Kamptal.at s.a.). Die Versuchsfläche dieser Arbeit befindet sich in der Riede Rosenhügel in Langenlois (Abbildung 2). Beim Weingartenboden handelt es sich um einen auf Löß entstandenen Tschernosem mit hohen Schluff Anteil, die Lage ist eben bis leicht hängig. Der Boden ist stark kalkhaltig, mäßig trocken und weist eine gute Wasserspeicherfähigkeit auf (Bodenkarte.at s.a.). Am Versuchsweingarten wird die Sorte Pinot Noir mit 2 unterschiedlichen Klonen auf der Rebenunterlage Kober 5BB kultiviert (1-84 Gm und 18 Gm).

***Abbildung 2**: Lage des Versuchsweingarten in Langenlois (Nö-Atlas).*

Die Witterung im Versuchsjahr zeichnet sich vor allem durch die geringen Niederschlagmengen aus. Im Jahr 2019 gab es in Langenlois nur 303,6 mm Niederschlag (Die Niederschlagmengen des letzten Quartals wurden nicht berücksichtigt). Auch die Jahresmitteltemperatur von 11,6 ° ist überdurchschnittlich hoch und zeigt den höchsten Wert in den letzten 10 Jahren (Abbildung 3).

Jan Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez Jahr

| | Jan | Feb | Mär | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez | Jahr |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AVG (°C) | 0,2 | 3,5 | 7,6 | 11,2 | 12,3 | 22,8 | 21,6 | 21,2 | 15,5 | 9,9 | 6,6 | - | 11,6 |
| MIN (°C) | -10,1 | -7,7 | -3,8 | -1,6 | -0,4 | 10,7 | 7,9 | 8,3 | 2,2 | -2,0 | -5,3 | - | -10,1 |
| MAX (°C) | 11,9 | 18,6 | 21,4 | 26,6 | 24,6 | 37,5 | 38,2 | 35,0 | 29,8 | 26,3 | 17,1 | - | 38,2 |
| SUM (mm) | 20,2 | 2,0 | 10,8 | 23,4 | 91,2 | 39,8 | 31,0 | 45,4 | 39,8 | 0,0 | 0,0 | - | 303,6 |
| AVG (% RH) | 83 | 75 | 71 | 64 | 80 | 70 | 66 | 75 | 78 | 90 | 86 | - | 74 |
| MIN (% RH) | 49 | 26 | 30 | 20 | 35 | 29 | 20 | 30 | 29 | 38 | 54 | - | 20 |
| MAX (% RH) | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | 100 |

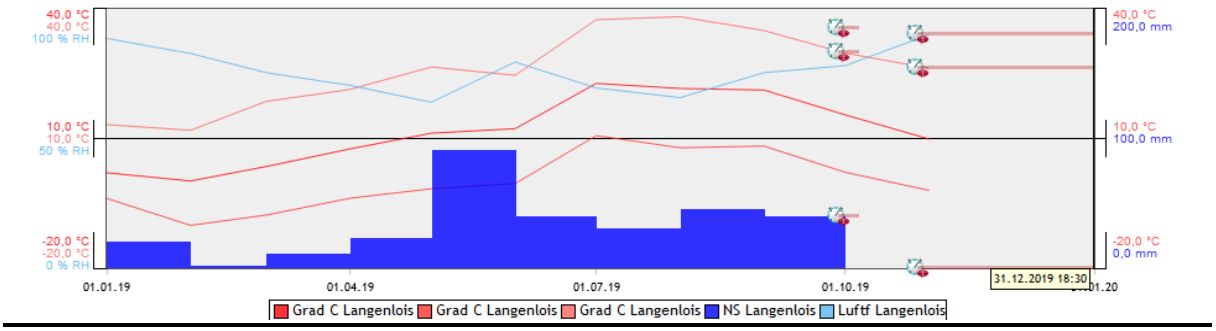


***Abbildung 3:** Wetterdaten Langenlois 2019 (adcon.at).*

## 3.2 Methoden:

20 Zeilen des Versuchsweingarten wurden mit 4 unterschiedlichen Unterstockbehandlungs- und einer Kontrolle-Variante (spontane Begrünung ohne Behandlung) behandelt. Als Behandlungsvarianten kommen Stockräumer, Rollhacke, Herbizid und eine spontane gemulchte Begrünung zum Einsatz (Abbildung 4). Die Arbeiten wurden von der Weinbauschule Krems durchgeführt. Tabelle 3 zeigt die Zeitpunkte der unterschiedlichen Behandlungen und Untersuchungen.

***Tabelle 3:*** *Zeitplan der Unterstockbehandlungen und Untersuchungen*

| Herbizid | 05.04.2019 | Vegetation | Enzyme | Bodenfeuchte Gravimetrisch | Bodenfeuchte TDR | Trieblängen | Photosynthese | Reife-parameter | Ertrag |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bodenbearb. | **11.04.2019** | | | | | | | | |
| | 6 Tage | 17.04.2019 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | 21 Tage | | 02.05.2019 | 02.05.2019 | | | | | |
| | 39 Tage | 20.05.2019 | | | 21.05.2019 | 20.05.2019 | | | |
| Bodenbearb. | **05.06.2019** | | | | | | | | |
| | 7 Tage | 12.06.2019 | 12.06.2019 | 12.06.2019 | 12.06.2019 | 12.06.2019 | | | |
| | 13 Tage | | | | | | 18.06.2019 | | |
| | 20 Tage | | 26.06.2019 | 26.06.2019 | 26.06.2019 | | 26.06.2019 | | |
| Herbizid | 02.07.2019 | | | | | | | | |
| Bodenbearb. | **12.07.2019** | | | | | | | | |
| Bodenbearb. | **22.07.2019** | | | | | | | | |
| | 7 Tage (14 Ta | 30.07.2019 | 30.07.2019 | 30.07.2019 | | | | | |
| | 21 Tage (28 Tage) | | | | | | | 15.08.2019 | |
| | 36 Tage | | 23.08.2019 | | | | | | |
| Bodenbearb. | **28.08.2019** | | | | | | | | |
| | 6 Tage | | | | | | | 03.09.2019 | |
| | 12 Tage | | | | | | | | 09.09.2019 |

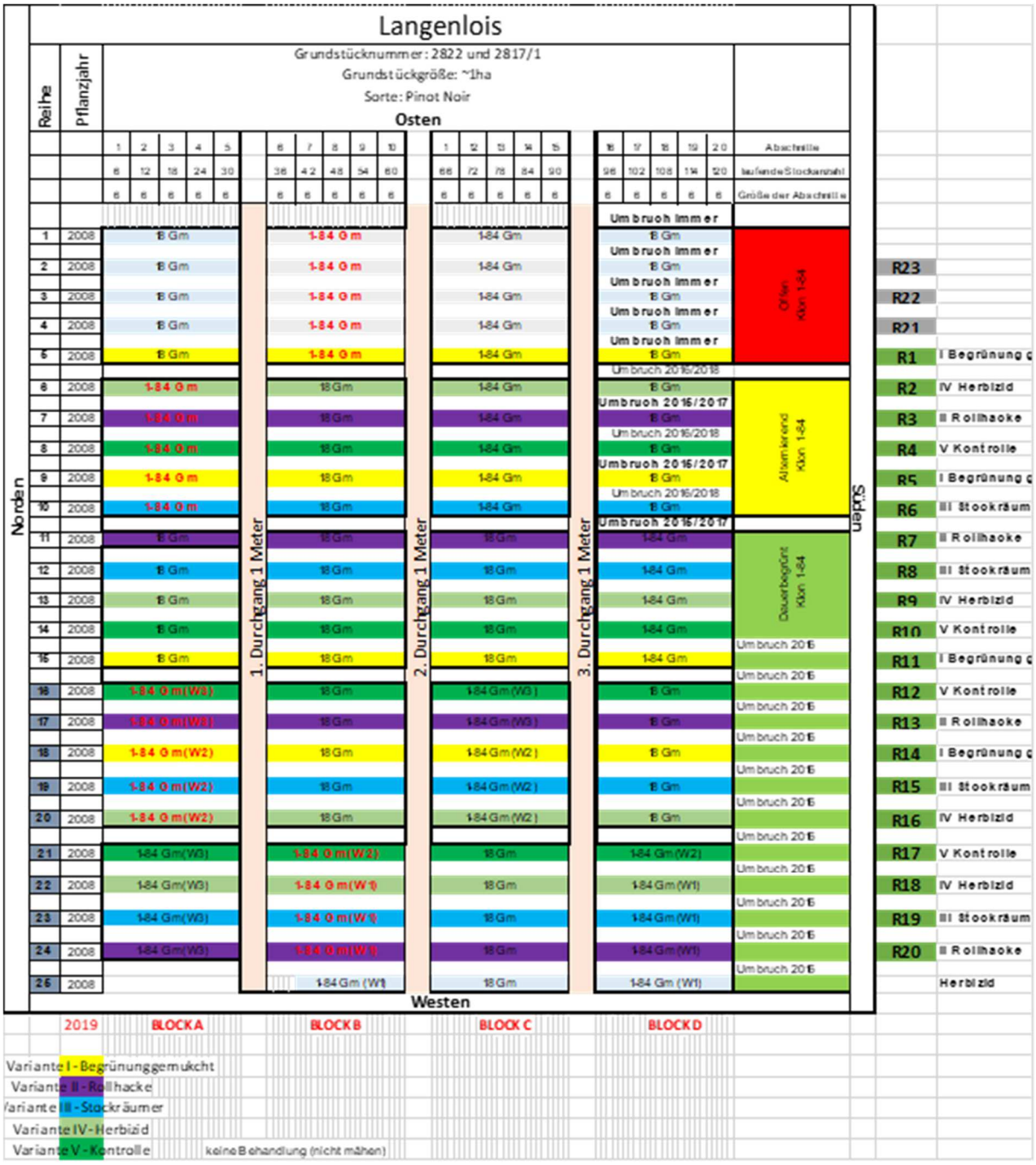


***Abbildung 4:*** *Layout Versuchsweingarten und Versuchsanordnung*

Nachfolgend beschriebene Untersuchungen von Boden und Rebe wurden im Jahr 2019 durchgeführt. Für die Untersuchungen an der Rebe werden nur Pflanzen des Klons 1-84 Gm verwendet.

## 3.3 Analytische Untersuchungen:

Bodenenzyme:

Bodenproben für Bodenenzyme wurden immer 1 und 3 Wochen nach den Unterstockbehandlungen genommen (siehe Tabelle 3). Hierfür wurden mit einen Bodenproben-Stecher Proben genommen, je Reihe vier Einstiche an randomisierten Stellen im Unterstockbereich in einer Tiefe von 0-10 cm. Die vier Einstichproben je Rebenreihe wurdn zu einer Mischprobe zusammengeführt. In Summe wurden 4 Proben (Wiederholungen) zu jeder Variante in einer Kühlbox ins Labor transportiert. Im Labor wurde die Aktivität der Enzyme: Saure Phosphatase (AP), Leucin Aminopeptidase (LAP) und Beta Glucosidase (BG) analysiert. Die Aktivität der Enzyme wurde mit Fluorometrischen Messungen in Mikrotiterplatten lt. BOKU Bodenenzym-Aktivitätsprotokoll gemessen (Khalil und Berardinis 2018).

Bodenfeuchte:

Die Bodenfeuchte wurde einerseits gravimetrisch (GravWC) und andererseits mittels TDR-Rohrsondensystem gemessen. Für die gravimetrische Bodenfeuchtebestimmung wurden Bodenproben wie für die Analyse der Enzymaktivität genommen, aber in 2 Tiefenstufen (0-10cm und 10-20cm). Eine Mischprobe je Rebenreihe setzte sich aus vier Bodeneinstichen zusammen. Für die Analyse wurden 30g Bodenprobe abgewogen und in einem Papierbeutel bei 70°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der relative gravimetrische Bodenfeuchtegehalt [%] wurde aus den Frisch- und Trockengewichte errechnet.
Die Messungen mittels TDR- Rohrsondensystem wurden am 12.05.2019, 12.06.2019 und 26.06.2019 durchgeführt, wobei je Variante und Wiederholung vier Messungen durchgeführt wurden.

Aufnahme des Bewuchses im Unterstockbereich:

Die Vegetation in den unterschiedlichen behandelten Unterstockbereichen wurde anhand der Effektivität der Behandlung, sowie der Zusammensetzung der unterschiedlichen Beikräuter und Begrünungspflanzen untersucht. Hierfür wurden für den Unterstockbereich in den Blöcken A und C pro Zeile je 4 Bereiche zufällig ausgewählt, bonitiert und protokolliert. Die untersuchten Bereiche sind 2m lange und 0,6m breite Bereiche im Unterstock (Abbildung 5). Um die Effektivität der Behandlung beurteilen zu können, wurden die Bereiche in grünen Bewuchs (cover-green), Streu (cover_litt) und offenen Boden (bare_soil) prozentual

aufgeteilt. Weiters wurden alle Pflanzenarten bestimmt und deren prozentualen Häufigkeit boniert. Die Untersuchungen wurden viermal im Laufe des Versuchs durchgeführt und immer eine Woche nach der Unterstockbehandlung durchgeführt, zusätzlich wurde auch 39 Tage nach der ersten Behandlung eine Vegetations-Kontrolle gemacht (siehe Tabelle 3).

***Abbildung 5:*** *Untersuchung der Unterstockvegetation. Reihe 6: Variante Stockräumer (Eigene Aufnahme).*

Vegetatives Wachstum:

Für das vegetative Wachstum wurde die Länge der Triebe an den beiden Streckern von drei zufällig ausgewählten Reben pro Reihe gemessen und gezählt. Aus diesen Messungen wurde das durchschnittliche Trieb Wachstum pro Reben berechnet. Für die Messungen der Trieblängen wurden nur Reben aus Block A (Ausnahme Reihe 1, hier wurde Reben aus Block B verwendet) des Klons 1-84 GM untersucht. Die Reihen 7-11 wurden für Messungen an den Reben ausgelassen. Dadurch bleiben 3 Reihen je Variante und in Summe wurden 9 Reben pro Variante untersucht (Diese Vorgehensweise wurde auch für Photosynthese Leistung, Reifeparameter und Ertragsmessungen praktiziert).

Die Messungen für des Trieblängenwachstums wurden am 21.05.2019 und 12.06.2019 durchgeführt. Am 21.05.2019 befanden sich die Reben in ihrer phänologischen Entwicklung kurz vor der Blüte (BBCH 55-57). Die 2. Messung wurde während der Vollblüte (BBCH 65)

durchgeführt. Während des Rebschnitts im Winter wurde am 10.01.2020 das Holzgewicht bestimmt. Hierfür wurden einjährigen verholzten Triebe von 5 zufällig ausgewählten Reben pro Reihe gezählt und gewogen. Je Variante wurden 15 Reben untersucht.

Photosynthese Leistung:

Zur Beurteilung der Photosyntheseleistung wurde die Transpirationsrate, die stomatäre Leitfähigkeit und die Assimilationsrate mittels LCpro (ADC, 2020) an den Blättern der Reben gemessen. Die Messungen wurden wie bei den Trieblängen Messungen an drei randomisierten Reben pro Reihe durchgeführt. Auch hier wurden 9 Reben pro Variante untersucht. Die Messungen wurden zum Ende der Blüte (BBCH 71) am 18.06.2019 und zum Beginn er Beerenentwicklung (BBCH 73) durchgeführt.

Reifeparameter (Brix° und Gesamtsäure):

Die Reifeparameter wurden vor der Lese in Abständen von 2 Wochen gemessen. Der erste Termin war der 15.08.2019, ca. eine Woche nach Beginn des Weichwerdens der Beeren. Der zweite Messtermin wurde am 03.9.2019 durchgeführt, ungefähr eine Woche vor der Lese. Je Rebenreihe wurde eine 100 Beeren Probe gezogen und gekühlt in Plastikbeutel ins Labor transportiert. Es wurden insgesamt 3 Reihen pro Variante untersucht. Im Labor wurden die Beeren gewogen, um das durchschnittliche Beerengewicht zu erhalten. Die Reifeparameter (Brix° und Gesamtsäure) wurden mittels einem Fourier-Transform-Infrarotspektrometer (FTIR) der Fa. Brucker Alpha gemessen. Für die Untersuchung mittels FTIR wurden die Beeren im Plastikbeutel zerquetscht der Beerensaft mit einer Zentrifuge geklärt. In Folge wurden die Proben lt. Bruckner Alpha Verfahrensprotokoll analysiert: 1) Täglichen PQ-Test durchführen 2) Experiment laden und Datenaufnahme starten 3) Probenname 4) Kalibrierungsmessung, Spritze wird mit 10ml Wasser befüllt und 9ml ins Gerät injiziert. 5) Probe messen, Spritze wird mit 10ml Saft befüllt und 9ml ins Gerät injiziert 6) Speichern 7) entladen.

Ertrags- und Beerengewichtsmessungen:

Für den Ertrag wurden am 9.9.2019 pro Reihe 4 zufällig ausgewählte Stöcke geerntet und die Trauben pro Stock abgezählt und mittels Hängewaage gewogen. Dadurch konnte das durchschnittliche Traubengewicht/Stock berechnet werden (Gewicht/Traubenanzahl). Es wurden in Summe 12 Stöcke pro Variante untersucht. Für die Beerengewichtsmessungen

wurden am 15.08.2019 und 3.09.2019 ca. 100 zufällige Beeren pro Reihe eingesammelt, abgezählt und gewogen. Danach wurde das durchschnittliche Beerengewicht berechnet. Die Beeren wurden auch für die Reifeparameter Analyse verwendet.

## 3.3 Statistische Methoden:

Für die Analyse der Daten und um signifikante Einflüsse der Varianten identifizieren zu können, wurden ein- und zweifaktorielle Varianzanalysen mit einem Signifikanzniveau von $\alpha=0,05$ durchgeführt. Zuvor wurden die Daten mittels Shapiro-Wilk Test auf Normalverteilung und mittels Levene Test auf die Homogenität der Varianzen überprüft. Zusätzlich wurden die Mittelwerte inkl. Standardabweichung in Säulendiagrammen miteinander verglichen. Um Zusammenhänge und Korrelationen visualisieren und identifizieren zu können wurden lineare Regressionsmodelle erstellt und mittels Pearson-Korrelationsanalyse überprüft. Die Berechnungen und Diagramme wurden mit dem Statistik Programm *R* und der Tabellenkalkulationssoftware *Excel* durchgeführt.

# 4. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden sequentiell in Abschnitte unterteilt dargestellt: 1) Effekte der Maßnahmen auf bodenphysikalische Parameter 2) Effekte auf die bodenbiologische Aktivität gemessen anhand der Enzymaktivität und 3) Ergebnisse der Wachstums- und Ertragsphysiologie. Darüber hinaus werden die unterschiedlichen Parameter in Relation gesetzt, um Zusammenhänge zu visualisieren.

## 4.1. Effekte auf die bodenphysikalischen Parameter

Als Bodenphysikalische Parameter wurden die gravimetrische Bodenfeuchte bestimmt und eine quantitative und qualitative Analyse der Unterstockvegetation durchgeführt.

### 4.1.1 Bodenfeuchte

Die gemessenen gravimetrischen Bodenfeuchtegehalte der untersuchten Varianten in einer Tiefe von 0-10 und 10-20 cm sind in der Abbildung 6 dargestellt. An 4 Messtagen konnte über alle Varianten hinweg kein einheitlicher Trend beobachtet werden, einzelne Unterschiede konnten aber beobachtet werden. Im Frühjahr (2.5.2019) und im Frühsommer (12.6.2019) wurden signifikante Unterschiede vor allem in einer Tiefe von 10-20 cm gemessen. Die Varianten Herbizid, Rollhacke und Stockräumer hatten an beiden Termine deutlich höhere Bodenfeuchtegehalte als beide Varianten mit einer Begrünung (gemulcht und Kontrolle). Ein gesichertes Signifikanzniveau von 0.05 konnte aber nur zwischen den Varianten Herbizid, mit den höchsten Werten, und Begrünung/gemulcht sowie Kontrolle, mit den geringsten Werten, bestimmt werden. In einer Tiefe von 0-10 cm unterschieden sich die Bodenfeuchtegehalte bei den beiden Terminen im Frühjahr und Frühsommer nur wenig, obwohl die Tendenzen zwischen den Varianten sehr ähnlich sind am 12.6. wie in einer Tiefe von 10-20 cm.

Im Laufe des Sommers konnte der deutliche Trend (Tiefe 10-20cm) von den beiden ersten Messterminen nicht beobachtet werden. Am dritten und vierten Messtermin waren die Werte der Begrünung/gemulcht und der Begrünung Kontrolle zum Teil höher als bei den beiden anderen Varianten, auch wenn der Unterschied durch die erhöhte Variabilität in den Messdaten statistisch nicht signifikant unterschiedlich war. Besonders auffällig sind die signifikant niedrigen Werte für die Variante Rollhacke im Vergleich zur Variante Begrünung/gemulcht in der Tiefe 0-10cm am 26.06.2019.

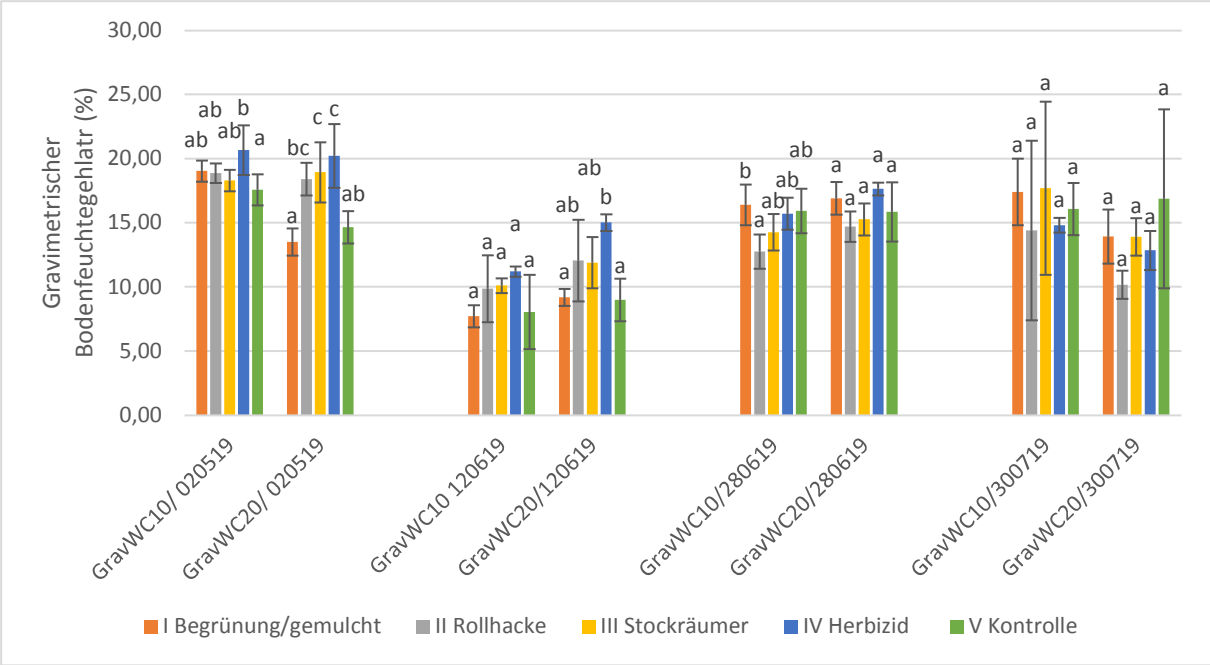


***Abbildung 6:*** *Mittelwert inkl. Standardabweichung des gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt (%) in 0-10cm und 10-20cm Tiefe zu für 4 unterschiedlichen Zeitpunkten in Abhängigkeit der 4 Bodenbearbeitungsvariante und Kontrolle. Daten vom gleichen Messtag und Tiefe wurden wurden miteinander verglichen (Signifikanzniveau α=0,05; N=4).*

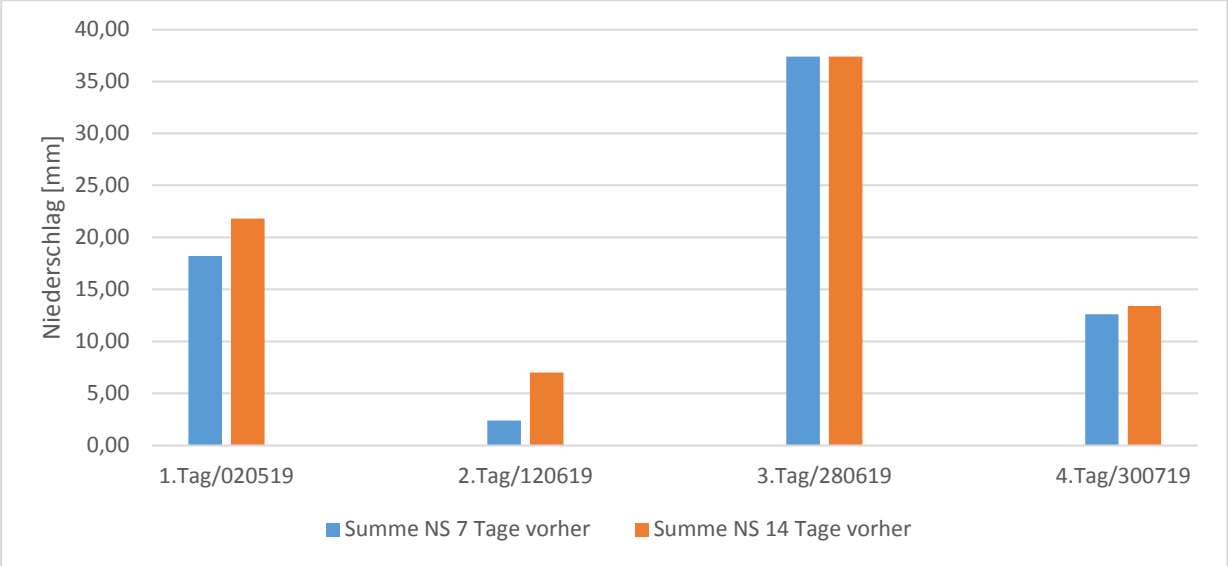


***Abbildung 7:*** *Niederschlagsverteilung: Summe der Niederschläge [mm] 7 und 14 Tage vor Probennahme für Bodenfeuchte Messungen.*

Eine mögliche Erklärung für die bestimmten gravimetrischen Bodenfeuchtegehalte könnte die Verteilung der Niederschläge geben, die in Abbildung 7 als Summen 7 und 14 Tage vor dem Messtermin dargestellt sind. Die deutlich geringeren Werte im Bodenfeuchtegehalt in allen Varianten am 12.6.2019 sind durch eine vorhergehende trockene Periode zu erklären mit nur ins 6 mm Niederschlag in den 2 Wochen vor dem Messtermin. Der höchste Niederschlag wurde in der Woche vor dem dritten Messtermin am 28.06.2019 gemessen.

Bei der Analyse der Abhängigkeit des Bodenfeuchtegehalts von Unterstockbehandlungsvariante und Niederschlagsverteilung zeigt sich, dass die Bodenfeuchtegehalte in einer Tiefe von 0-10cm stärker von der Niederschlagsumme 14 Tage vor Probennahme abhängig ist und weniger von der Behandlungsvariante ($p=1,91 *10^{-15}$, Df=3, F=45). Es gibt auch keine Wechselwirkungen zwischen Niederschlagssumme und Bearbeitungsvariante. In einer Tiefe von 10-20 cm zeigen sich die Abhängigkeiten der gemessenen Bodenfeuchtewerte für die Varianten differenzierter. Es konnte ein signifikanter Einfluss der Niederschlagssummer 14 Tage vor dem Messtermin ($p=8,26 *10^{-8}$, Df=3, F=26). als auch der Bearbeitungsvariante (p=0,0028884, Df=4, F=5) gezeigt werden. Im Vergleich zur Kontroll Variante zeigen sich bei geringen Niederschlagsmengen, am 12.06.2019 höhere Bodenfeuchtgehalte bei der Herbizid Variante. Bei höheren Niederschlagsmengen (26.06.2019) hat die Variante keinen signifankten Einfluss in 10-20cm Tiefe auf den Bodenfeuchtegehalt. Das bestätigt auch die signifikante Interaktion der beiden Faktoren Niederschlagsmenge und Behandlungsvariante ($p=1,04*10^{-4}$, Df=12, F=4). In Abbildung 8 und 9 sind die Einflüsse der Variante und Niederschlagverteilung als Mittelwertplot grafisch dargestellt.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die Varianten Begrünung/gemulcht und Begrünung Kontrolle im Frühjahr und Frühsommer zu einer Reduzierung des Bodenfeuchtegehaltes im Vergleich zu den anderen Varianten vor allem in einer Tiefe von 10-20 cm geführt hat. Dieser Trend konnte im Verlauf des Sommers nicht mehr beobachtet werden, sondern kehrte sich zum Teil um, besonders bei der Variante Rollhacke mit den geringsten Werten im Sommer.

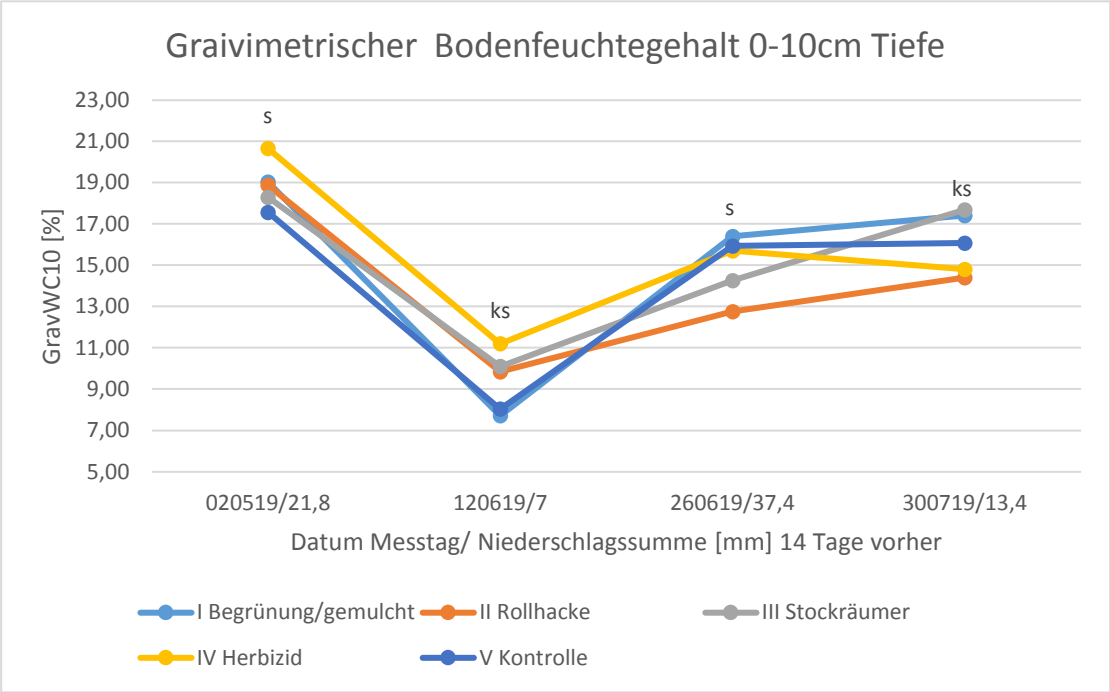


***Abbildung 8:*** *Mittelwert-Plot: Mittelwert [%] der Gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt- Messungen in 0-10cm Tiefe (mean of GravWC10) in Abhängigkeit von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm] bzw. dem Zeitpunkt der Probennahme. Einfaktorielle ANOVA: s= signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit von der Niederschlagssumme (Signifikanzniveau α=0,001).*

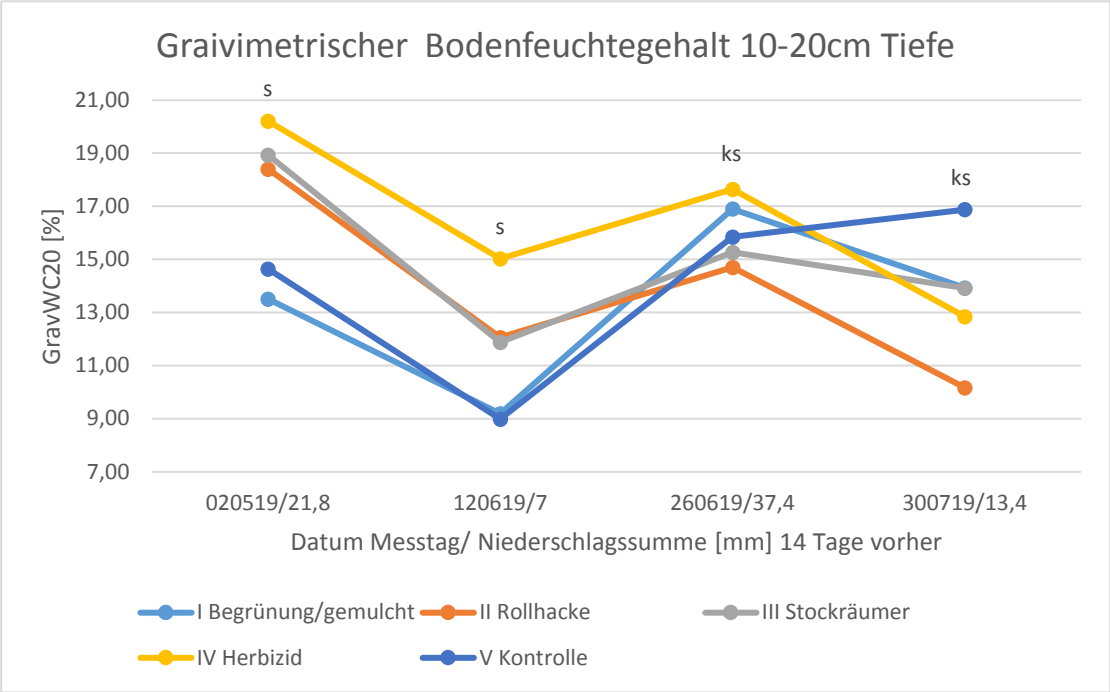


***Abbildung 9:*** *Mittelwert-Plot: Mittelwert [%] der Gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt- Messungen in 10-20cm Tiefe (GravWC20) in Abhängigkeit von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm] bzw. dem Zeitpunkt der Probennahme. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit von der Niederschlagssumme und Variante (Signifikanzniveau α=0,001).*

### 3.1.2 Unterstockvegetation

Der Anteil an grünem Bewuchs, Streu und offenem Boden im Unterstockbereich wurde untersucht, um die Effektivität der Bodenbearbeitung und den Entwicklungsverlauf der Begrünung in Quantität und Qualität analysieren zu können.

In Abbildung 10 wird der Anteil des grünen Bewuchses (green-cover) in Abhängigkeit der Bearbeitungsvarianten an vier verschieden Beobachtungstagen dargestellt. Der Bewuchs der Herbizid Variante ist immer (mit Ausnahme am ersten Tag) sehr gering. Auch die mechanischen Bearbeitungsvarianten zeigen eine effektive Reduktion des Bewuchses. Hier lassen sich kleine Unterschiede an den unterschiedlichen Tagen erkennen. Den größten Anteil an grünen Bewuchs haben die Variante Begrünung/gemulcht und die nicht bearbeitete Kontrolle.

Die Daten der Unterstockvegetation wurden mit Ergebnissen aus anderen Abschnitten der Arbeit in Relation gesetzt. Abbildung 11 und 12 zeigen die Zusammenhänge zwischen der Unterstockvegetation (Anteil des grünen Bewuchses bzw. Bodenbedeckung (green_cover)) und dem mittleren gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt. Leider erfolgten die Messungen des gravimetrischen Wasserpotentials nicht zeitliche mit der Bonitur der Vegetation. Für die Korrelationsanalyse wurden die Messungen verwendet die zeitnah zur Aufnahme der Vegetation stattfanden. Das lineare Regressionsmodell zeigt zu Beginn der Vegetationsperiode (Vegetation 20.05.2019 und Bodenfeuchte 12.06.2019) einen schwach negativen Zusammenhang zwischen dem Anteil an grüner Bodenbedeckung und dem gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt in 0-10cm Tiefe ($R^2$=0,3356; R=-0,5793444; p-wert: 0,007429). In 10-20cm Tiefe ist dieser Zusammenhang etwas stärker ausgeprägt ($R^2$=0,6025; R= -0,7762252; p-wert: 0,00005737). Im Verlauf des Sommers (31.07.2019) konnte keine Korrelation mehr zwischen grüner Bodenbedeckung und dem Bodenfeuchtegehalt festgestellt werden, sowohl in 0-10cm ($R^2$=0,0093033, R= 0.09645037; p-wert= 0,6858), als auch in 10-20cm Tiefe ($R^2$=0,1419; R= 0,3767383 p-wert= 0,1016).

Die prozentuelle Zusammensetzung der verschiedenen Pflanzenarten im Unterstockbereich im Verhältnis zur Gesamtfläche wurden in Tabelle 4 dargestellt. Die dominierenden Pflanzen gehören zu der Familie Süßgräser (Poaceae). Zu den Gräsern zählen v.a. Trauben Trespe (*Bromus sterilis),* Gemeine Quecke *(Elymus repens)* und einige andere unspezifische Gräser-Arten. Während zu Beginn des Versuchs *Bromus sterilis* den größten Anteil des grünen Bewuchses in den Varianten Begrünung/gemulcht und der Kontrolle ausmacht, kommt es ab dem 12.06.2019 zu einer Etablierung von *Elymus repens*.

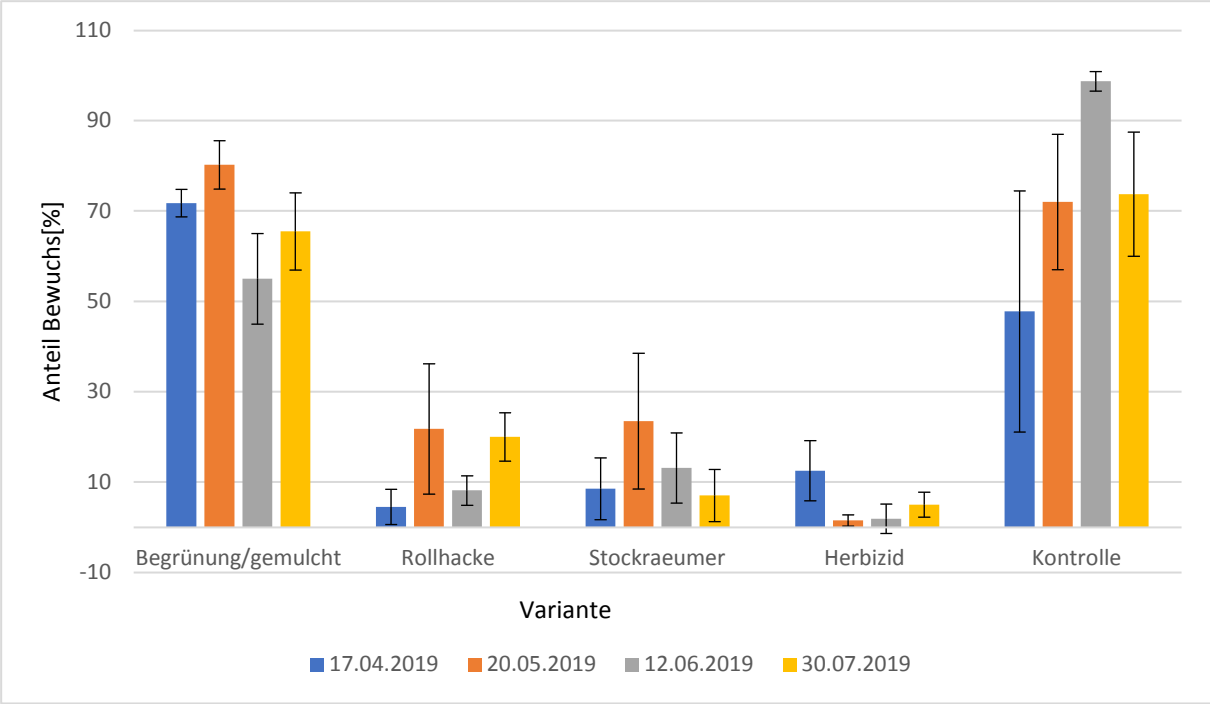


***Abbildung 10:*** *Anteil des mittleren grünen Bewuchses in % inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsvariante zu vier verschiedenen Zeitpunkten.*

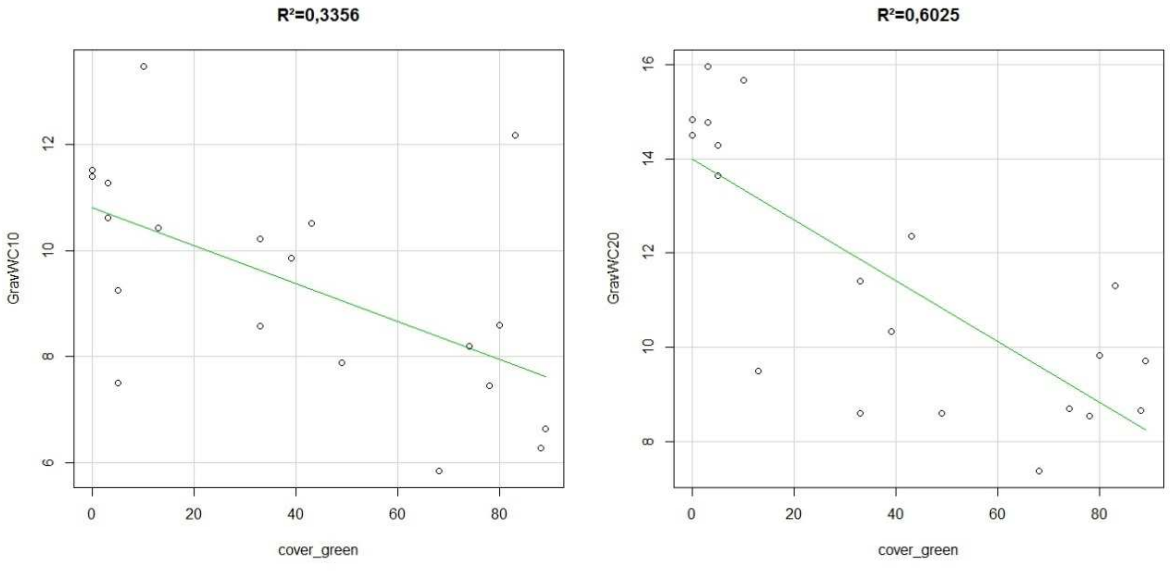


***Abbildung 11:*** *Korrelation zwischen gravimetrischen Bodenfeuchtewassergehalt (GraWC [%]) am 12.06.2019 und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]) am 20.05.2019. Bodenfeuchtegehalt in 0-10cm Tiefe links und 10-20cm rechts.*

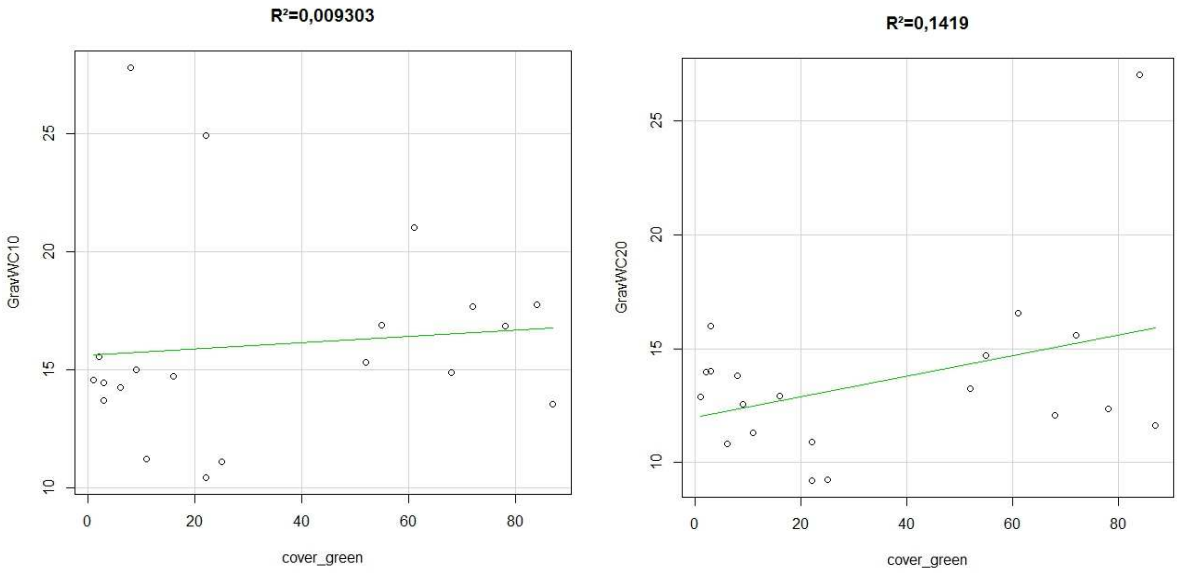


***Abbildung 12:*** *Korrelation gravimetrischer Bodenfeuchtewassergehalt (GraWC [%]) am 30.07.2019 und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]) am 31.07.2019. Bodenfeuchtegehalt in 0-10cm Tiefe links und 10-20cm rechts.*

***Tabelle 4:*** *Zusammensetzung der Pflanzenarten im Unterstockbereich [%] an vier Beobachtungstagen (Einzelne Pflanzen wurden nicht berücksichtigt).*

| Variante | Datum | *Bromus sterilis* | *Capsella bursa-pastoris* | *Cirsium arvense* | *Convolvulus arvensis* | *Elymus repens* | *Erodium cicutarium* | *Geranium molle* | *Lamium purpureum* | *Lepidium draba* | *Poa annua* | *Sonchus arvensis* | *Stellaria media* | *Taraxacum officinale* | *Thlaspi arvense* | *Veronica arvensis* | *Mercurialis annua* | Gras unspezifisch |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kontrolle | 17.04.2019 | 41,88 | | | | | 0,13 | 3,13 | | | 2,13 | | 0,25 | 0,38 | | 1,25 | 0,13 | |
| Begrünung/gemulcht | 17.04.2019 | 52,50 | 0,13 | | 0,13 | | 0,38 | 7,25 | | | 9,38 | | 0,75 | | | 0,88 | | |
| Herbizid | 17.04.2019 | 0,25 | | | | | 0,25 | 1,88 | 0,63 | 0,25 | | | | | | 9,13 | | |
| Rollhacke | 17.04.2019 | 1,86 | | | | | | 0,29 | | | | 0,71 | | 0,29 | | 0,29 | | |
| Stockräumer | 17.04.2019 | 5,63 | | | | | | 0,25 | 0,38 | 0,25 | | | 0,75 | | | 1,13 | 0,25 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kontrolle | 21.05.2019 | 62,38 | 0,38 | | | | | 4,38 | | 13,38 | 0,25 | | 0,25 | | | 0,38 | | |
| Begrünung/gemulcht | 21.05.2019 | 62,25 | | | 1,25 | | 0,25 | 4,88 | | 3,13 | 1,38 | | | | | 0,38 | | |
| Herbizid | 21.05.2019 | | | | | | | | | 0,63 | | | | | | | | |
| Rollhacke | 21.05.2019 | 4,00 | | 3,13 | 1,25 | | | | | 11,88 | 0,25 | | 0,63 | | | 1,00 | | |
| Stockräumer | 21.05.2019 | 9,25 | | 3,00 | 0,75 | | | 1,88 | | 5,63 | | | | | | 1,63 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kontrolle | 12.06.2019 | 51,25 | | 3,75 | | 33,13 | | 3,13 | | 8,75 | | | | | | | | |
| Begrünung/gemulcht | 12.06.2019 | 49,75 | | | 0,25 | 1,25 | | 1,25 | | | | | | | | | | |
| Herbizid | 12.06.2019 | | | | | | | | | 0,63 | | | | | | | | 1,25 |
| Rollhacke | 12.06.2019 | 0,63 | | | | | | | | 1,88 | | | | | | | | 4,38 |
| Stockräumer | 12.06.2019 | | | | 0,25 | | | | | 3,75 | | | | | | | | 8,50 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kontrolle | 31.07.2019 | 5 ,75 | | 3,75 | | 36,25 | | | | 0,63 | | | | | | | | |
| Begrünung/gemulcht | 31.07.2019 | 28,13 | | | | 38,13 | | | | | | | | | | | 1,25 | |
| Herbizid | 31.07.2019 | 0,63 | | | | 0,63 | | | | | | | | | | | | |
| Rollhacke | 31.07.2019 | 1,88 | | 1,25 | | 4,63 | | | | | | | | | 1,00 | | 11,63 | |
| Stockräumer | 31.07.2019 | | | | | 0,63 | | | | | | | | | | | 0,63 | 3,13 |

## 3.2. Effekte auf die bodenbiologische Akitivität

Als Indikatoren für die Bodenbiologische Aktivität dienten die Enzyme Saure Phosphatase (AP), Leucin Aminopeptidase (LAP) und Beta Glucosidase (BG)

### 3.2.1 Bodenenzyme

Die Aktivität von drei Bodenenzymen wurden untersucht, um die Effekte der unterschiedlichen Bodenbearbeitung auf das mikrobielle Bodenleben zu untersuchen.

Die mittlere Aktivität der Bodenenzyme AP, BG und LAP werden anhand der unterschiedlichen Bearbeitungsvarianten an den 4 verschieden Messtagen miteinander verglichen (Abbildung 14-16). Bei der Betrachtung der Ergebnisse zu den unterschiedlichen Zeitpunkten zeigt sich zu Beginn des Versuchs bzw. an den ersten beiden Messtagen kein signifikanter Einfluss ($\alpha$=0,05) der Variante auf die Aktivität der Enzyme. Mit Ausnahme des Enzyms AP, hier lassen sich am zweiten Messtag (12.06.2019) signifikante Unterschiede zwischen der Kontrolle und den Varianten Herbizid und Stockräumer erkennen. Im Laufe des Versuchs wird ein klarer Trend erkennbar. Am dritten Messtag (26.06.2019) zeigt sich ein signifikanter Einfluss der Behandlungsvariante auf die Aktivität des Enzyms LAP. Dieser Effekt kann am letzten Messtag (30.07.2019) bei allen Enzymen beobachtet werden. Zusammenfassend lässt sich bei allen Enzymen eine Zunahme der Aktivität bei den begrünten Varianten Begrünung/gemulcht und Kontrolle ausmachen. Auch bei der Betrachtung der Enzymaktivität über den gesamten Versuchszeitraum unabhängig des Zeitpunkts der Probenahme wird eine signifikante höhere Enzymaktivität bei der Kontrolle und der Variante Begrünung/Variante ersichtlich (Abbildung 13).

Wie bei der Bodenfeuchte wurde auch hier die Enzymaktivität in Abhängigkeit der beiden Faktoren Behandlungsvariante und Zeitpunkt der Probennahme bzw. Niederschlagsverteilung analysiert und zwei-faktorielle Varianzanalyse (Signifikanzniveau von $\alpha$=0,05) durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Enzym AP signifikant von der Bodenbehandlungsvariante ($p=4{,}18*10^{-7}$, Df=4, F=11,7365) und nicht vom Zeitpunkt der Probennahme (p=0,1788, Df=3, F=1,689) abhängig ist. In Abbildung 17 lassen sich an allen 4 Messtagen die höchsten Werte bei der Variante Begrünung/gemulcht sowie die niedrigsten bei Stockräumer und Herbizid Aktivität erkennen. Beim Enzym BG ist die Aktivität des Enzyms durch die Interaktion der Niederschlagsverteilung und Behandlungsvariante signifikant beeinflusst ($p=4{,}76*10^{-2}$, Df=12, F=1,9358). Aber auch hier kann wie bei AP ein deutlich größerer Unterschied am Ende des Versuchs festgestellt werden (Abbildung 18). Das Enzym LAP (Abbildung 19) hat

eine starke Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Probenhame bzw. von der Niederschlagsverteilung. Dieser Eindruck kann mittels Varianzanalyse jedoch nicht bestätigt werden da keine Varianzhomogenität der Daten für LAP festgestellt werden konnte, kann die 2-faktorielle Varianzanalyse für das LAP keine verlässliche Information bieten.

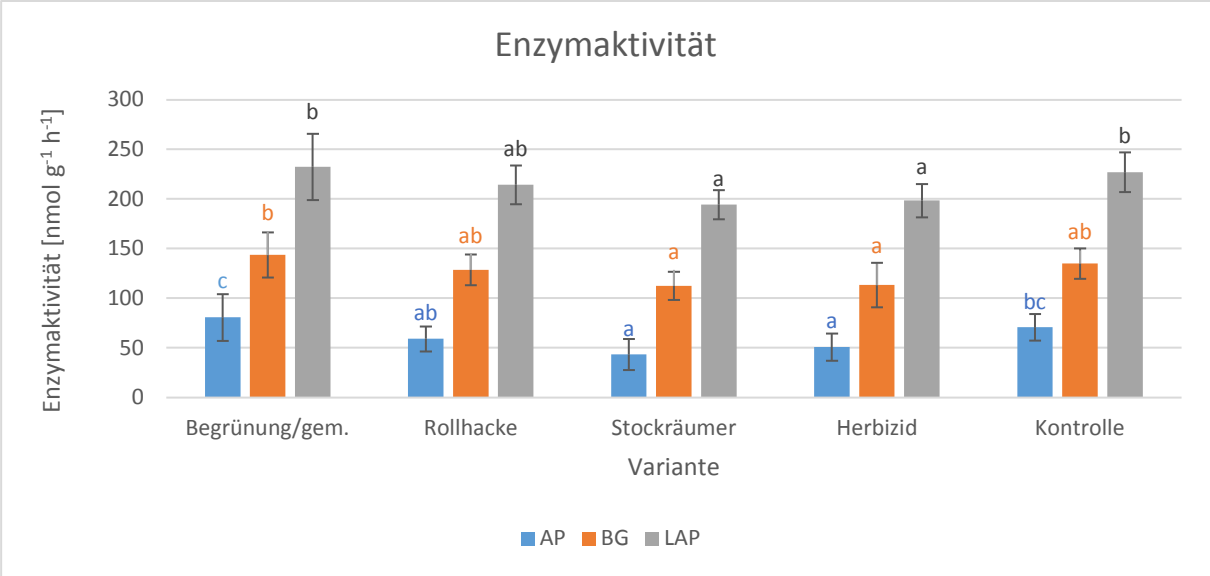


***Abbildung 13:*** *Mittlere Enzymaktivität [nmol g-1 h-1] inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Variante (Signifikanzniveau α=0,05, N=4).*

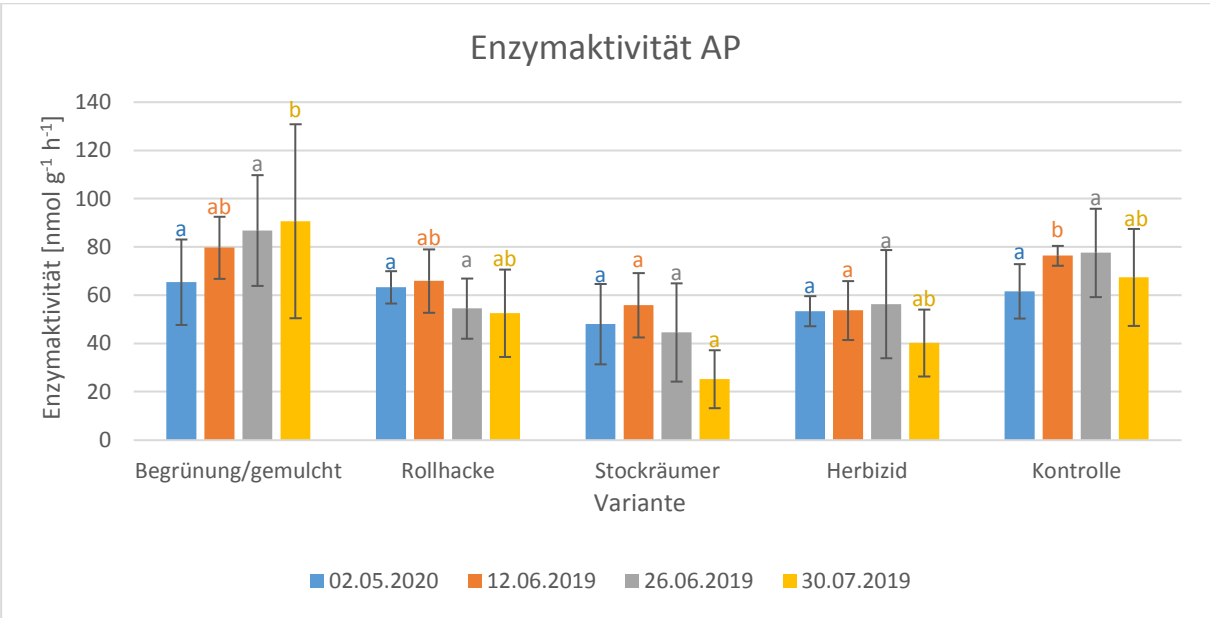


***Abbildung 14:*** *Mittlere Aktivität des Enzyms AP inkl. Standardabweichung [nmol g-1 h-1] in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante an vier verschiedenen Messtagen (Signifikanzniveau α=0,05, N=4).*

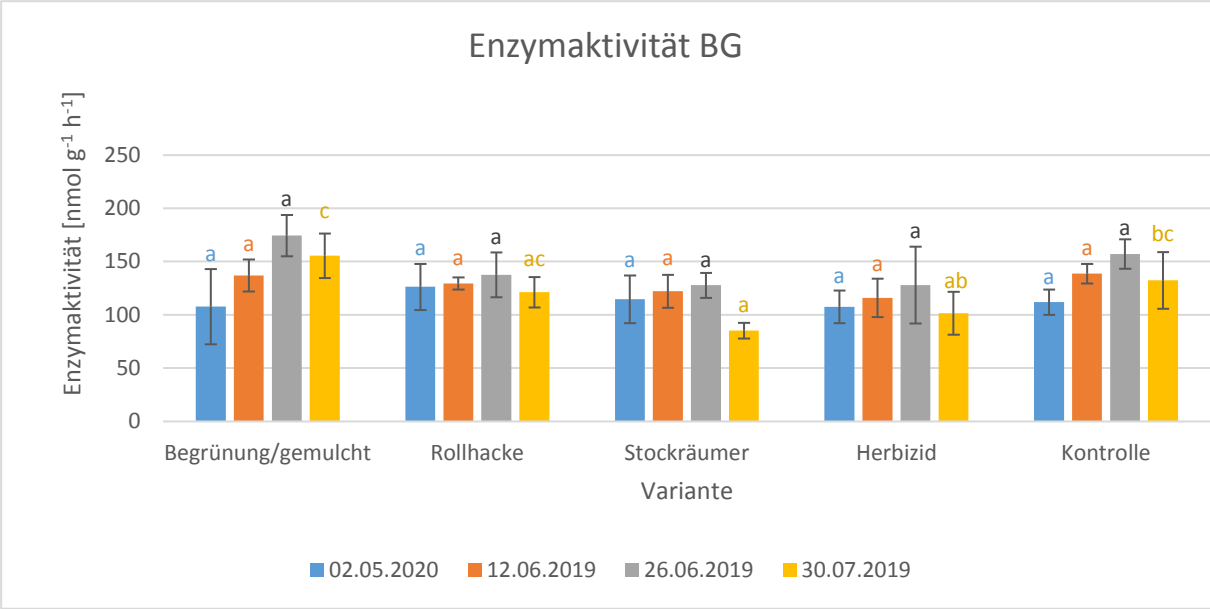


***Abbildung 15:*** *Mittlere Aktivität des Enzyms BG inkl. Standardabweichung [nmol $g^{-1}$ $h^{-1}$] in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante an vier verschiedenen Messtagen (Signifikanzniveau α=0,05, N=4).*

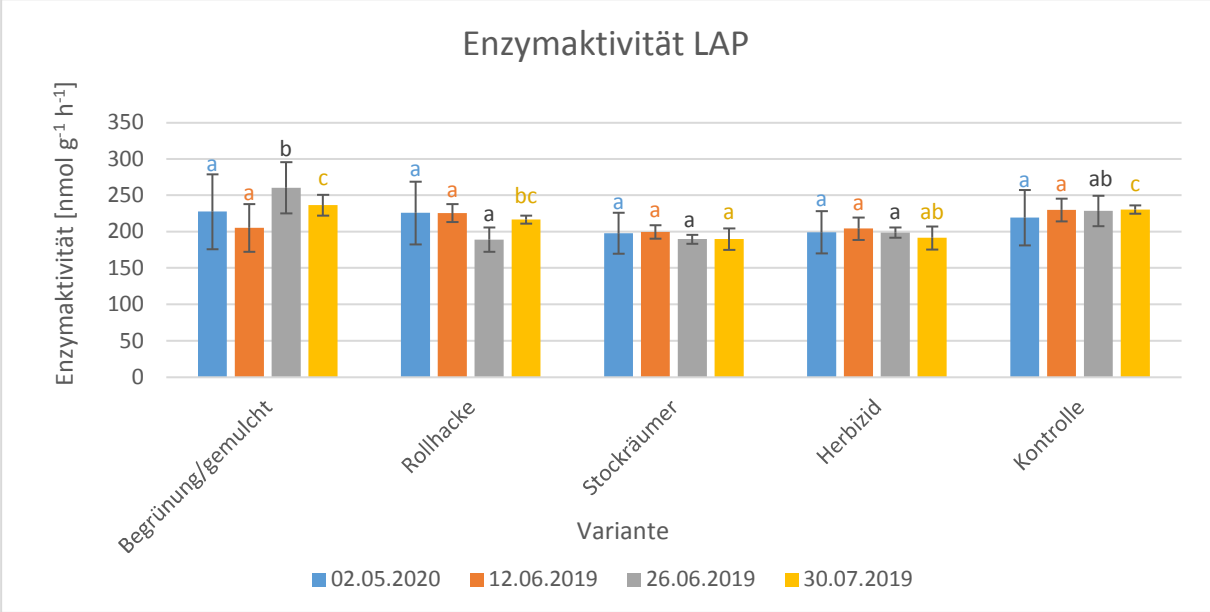


***Abbildung 16:*** *Mittlere Aktivität des Enzyms LAP inkl. Standardabweichung [nmol g-1 h-1] in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante an vier verschiedenen Messtagen (Signifikanzniveau α=0,05, N=4).*

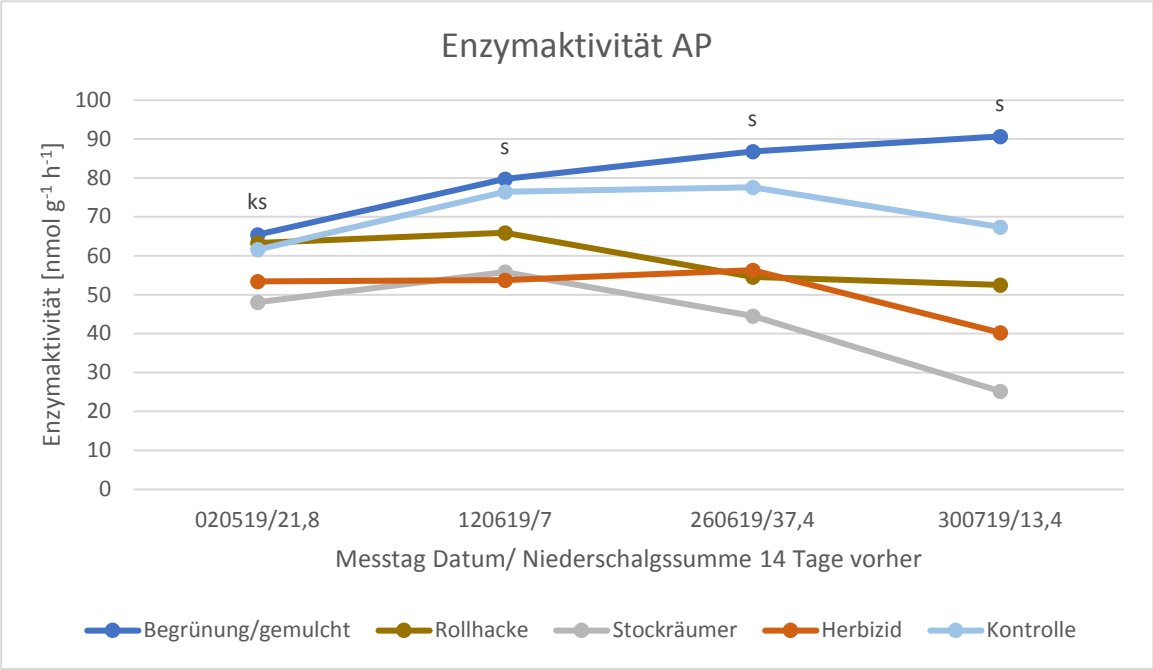


***Abbildung 17:*** *Mittelwert-Plot. Enzym-Aktivität AP [nmol g-1 h-1], abhängig von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm]. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit nur von Variante (Signifikanzniveau α=0,001) N=4.*

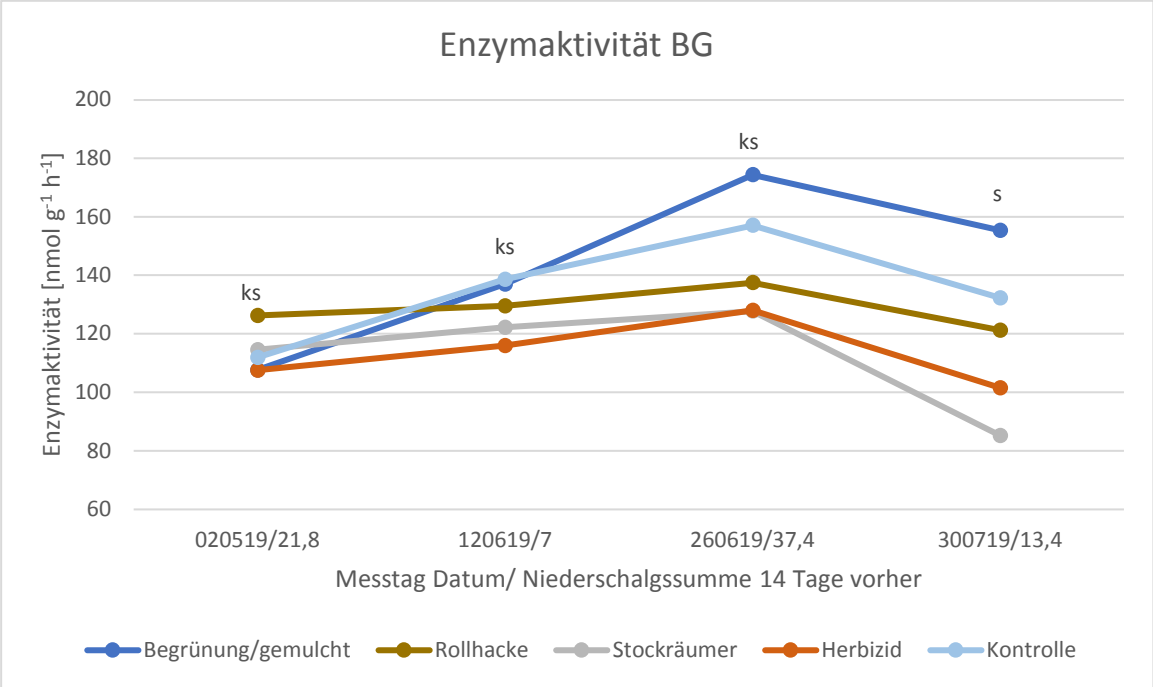


***Abbildung 18:*** *Mittelwert-Plot. Enzym-Aktivität BG [nmol g-1 h-1], abhängig von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm]. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: signifikante Abhängigkeit von Variante und dem Zeitpunkt der Probennahme (Signifikanzniveau α=0,05) N=4.*

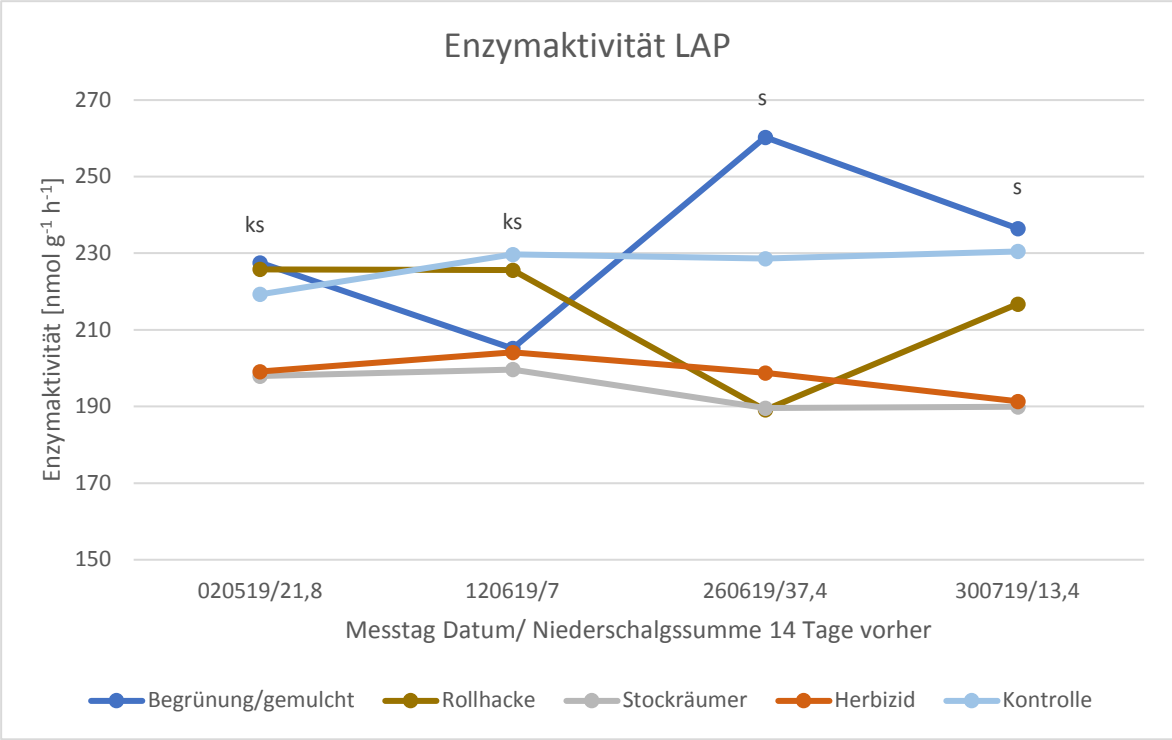


***Abbildung 19:*** *Mittelwert-Plot. Enzym-Aktivität LAP [nmol g-1 h-1], abhängig von Behandlungsvariante und Niederschlagssumme [mm]. Einfaktorielle ANOVA: s=signifikanter Unterschied in der Variante; ks= kein signifikanter Unterschied in der Variante in der Variante (Signifikanzniveau α=0,05). 2-faktorielle ANOVA: ungültig. N=4.*

Darüber hinaus wurden die Ergebnisse der Enzymaktivität mit den Daten der bodenphysikalischen Parameter in Relation gesetzt. Zuerst wurde der Zusammenhang von Bodenfeuchte und Enzymaktivität überprüft. Hier konnte kein Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte in 0-10 und 10-20cm Tiefe und der Enzymaktivität festgestellt werden (AP: $R^2$= 0,01327; BG: $R^2$= 0,03729; LAP: $R^2$= 0,004063). Auch in 0-10cm Tiefe konnten keine Korrelation zwischen Bodenfeuchte und Enzymaktivität festgestellt werden (AP: $R^2$= 0,01327; BG: $R^2$= 0,01642; LAP: $R^2$= 0,003821)

Auch die Daten der quantitativen Evaluierung der Bodenvegetation wurden mit den Ergebnissen der Enzym Aktivität in Relation gesetzt. Für die Regressionsmodelle wurden die Daten der Unterstockvegetation vom 17.04.2019 und 31.07.2019 herangezogen und mit Daten der Enzymaktivitäts-Untersuchungen am 02.05.2019 und 30.07.2019 verglichen. Alle untersuchten Enzyme zeigen ähnliche Ergebnisse (Abbildung 20-22). Zu Beginn der Vegetationsperiode ist kein Zusammenhang zwischen der grünen Bodenbedeckung und der Enzymaktivität festzustellen. Im Laufe der Vegetationsperiode zeigte sich bei allen 3 untersuchten Enzyme ein positiver Zusammenhang zwischen Begrünung und der Aktivität der Enzyme (AP: $R^2$=0,4634; BG: $R^2$=0,491; LAP: $R^2$=0,5388).

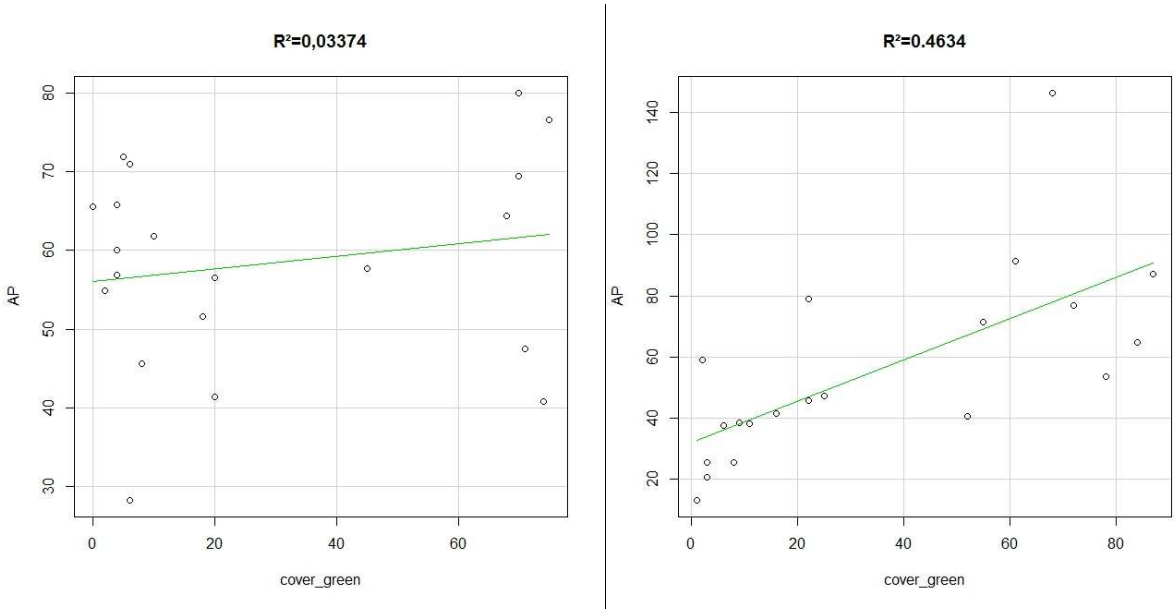


***Abbildung 20:*** *Korrelation AP Aktivität [nmol g-1 h-1] und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]) 17.04.19 links; 31.07.19 rechts.*

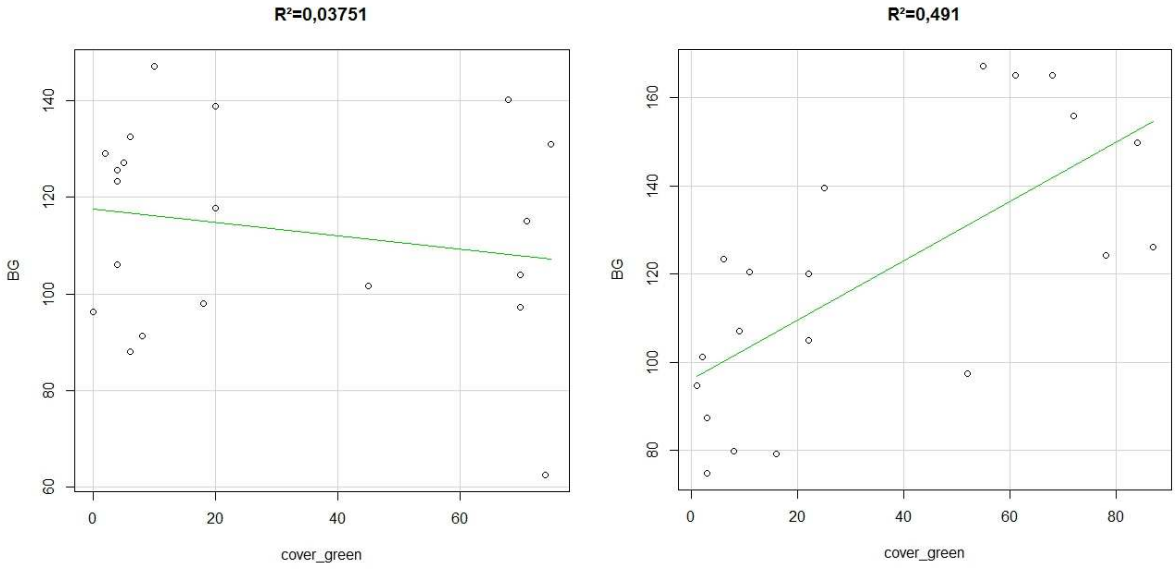


***Abbildung 21:*** *Korrelation BG Aktivität [nmol g-1 h-1] und grüner Bodenbedeckung (cover_green [%]). 17.04.19 links; 31.07.19 rechts.*

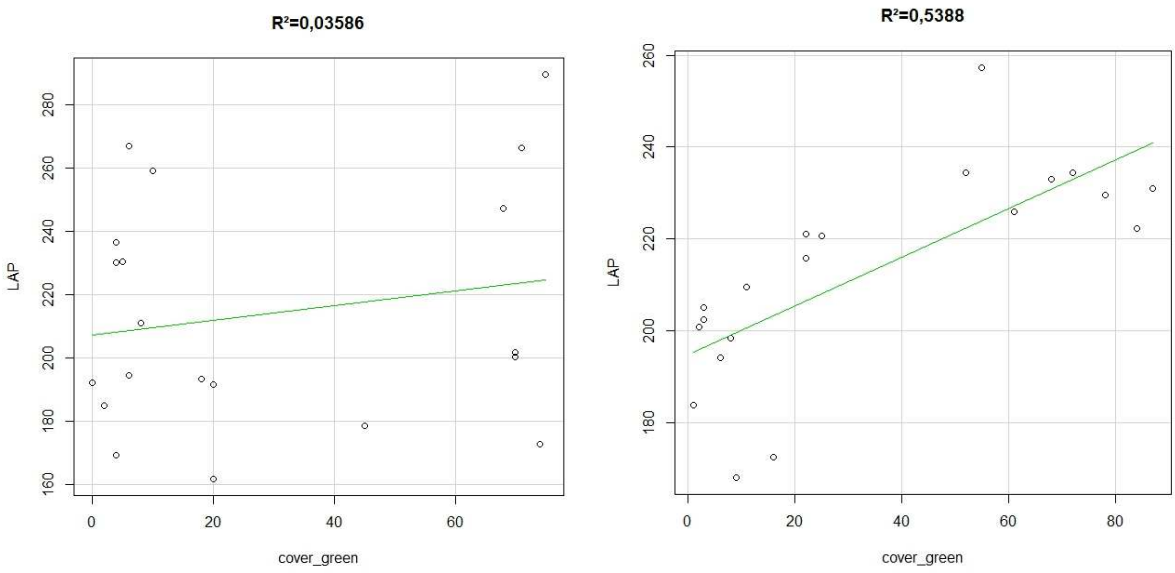


***Abbildung 22:*** *Korrelation LAP Aktivität [nmol g-1 h-1] und grüner Bodenbedeckung (cover_green[%]). 17.04.19 links; 31.07.19 rechts.*

## 3.3 Effekte auf die Wachstums- und Ertragsphysiologie

Als Parameter für die Vitalität und das Wachstum der Reben dienen die Daten der Reifemessungen sowie die Trieblängen, Schnittholzgewichte und die Messung der Photosynthese. Um Informationen über die Ertragsphysiologie zu erhalten, wurden Beerengewicht, Traubengewicht und Traubenanzahl analysiert.

### 3.3.1 Trieblängenwachstum und Schnittholzgewicht

Die Mittelwerte der Trieblängenmessungen inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbehandlungsvariante wurden in Abbildung 23 für die Messtage 21.05.2019 und 12.06.2019. dargestellt. Am 12.06.2019 haben die Varianten Begrünung/gemulcht und die Kontrolle zwar ein geringeres Trieblängenwachstum, signifikante Unterschiede sind jedoch nur zwischen der Herbizid und der begrünten/gemulchten Variante zu erkennen (p-wert= 0,0372; $\alpha$=0,05). Auch wenn zu Beginn des Versuchs am 21.05.2019 noch keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden können, zeigt die Variante Herbizid auch hier das stärkste Wachstum bei den Trieben.

Die Analyse des Schnittholzgewichts zeigt, dass die unterschiedlichen Varianten keinen signifikanten Einfluss auf den Holzzuwachs haben (Varianzanalyse p-wert= 0,247; $\alpha$=0,05) Die Variante Stockräumer hat mit einem durchschnittlichen Gewicht von 0,45 kg pro Rebe den höchsten Wert. Die Variante Begrünung/gemulcht und Kontrolle zeigen mit 0,35 kg und 0,36 kg pro Rebe das niedrigste Schnittholzgewicht. Die Reben aus dem mit Herbizid (0,411 kg) und Rollhacke (0,40 kg) behandelten Unterstockbereich liegen knapp hinter der Stockräumer Variante. Die Ergebnisse Gewicht/Trieb zeigen eine ähnliche Rangordnung.

Die Daten der Trieblängenmessungen am 12.06.2019 wurden auch mit anderen Parametern in Relation gesetzt. Ein Zusammenhang zwischen dem gravimetrischen Bodenfeuchtegehalt in einer Tiefe von 10-20 und 0-10cm am 12.06.19 und der Trieblängen konnte statistisch nicht bestätigt werden ($R^2$= 0,2213). Auch die Aktivität der Bodenenzyme am 12.06.2019 korrelieren nicht mit dem Trieblängen Wachstum (AP: $R^2$= 0,1861; BG: $R^2$= 0.1208; LAP: $R^2$= 0,006676). Zusätzlich wurden die Daten des Trieblängenwachstums (Mittelwert ohne den größten und kleinsten Werten) und die des Schnittholzgewichts mit jene der Unterstockvegetation verglichen und in Relation gesetzt. Die Abbildung 24 zeigt die Ergebnisse der Regressionsanalyse und den Zusammenhang zwischen Bodenbedeckung und dem vegetativen Wachstum der Rebe. Beide Analysen beschreiben einen schwachen negativen Zusammenhang zwischen Bodenbedeckung und Trieblängen-Wachstum der Rebe

($R^2$= 0,3576; R= - 0.5980254; p-Wert= 0,01853) bzw. dem Schnittholzgewicht ($R^2$= 0,3403; R= -0,5833436; p-Wert= 0,02854). Für die statische Analyse des Schnittholzgewichts wurde ein Ausreißer lt. Boxplot bei der Variante Stockräumer entfernt.

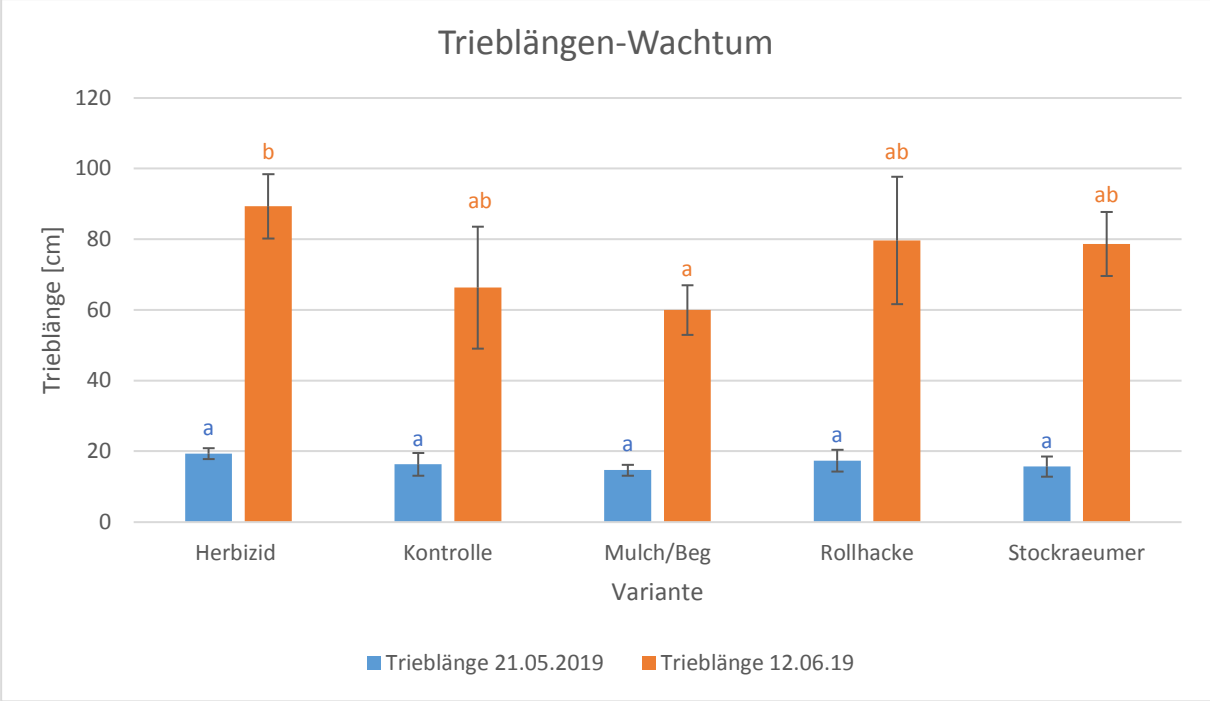


***Abbildung 23:*** *Mittelwerte Trieblängen Wachstum [cm] inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbehandlungsvariante am 21.05.2019 und 12.06.2019 (Signifikanzniveau α=0,05, N3).*

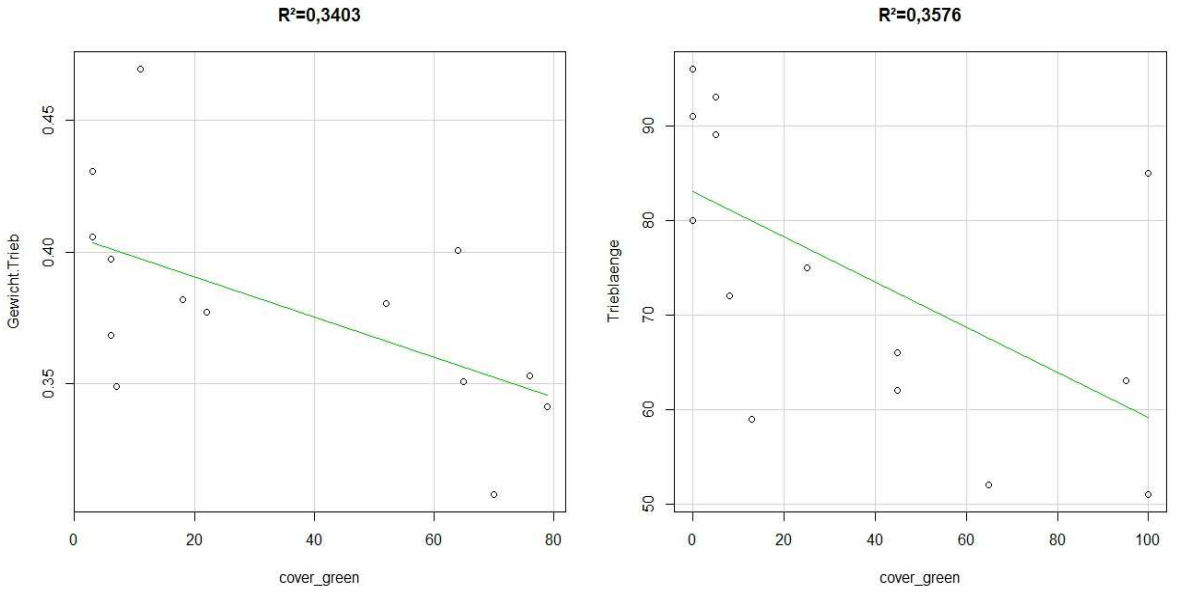


***Abbildung 24:*** *Korrelation zwischen Gewicht/Rebe [kg] links und zwischen Trieblängenwachstum [cm] und Unterstockbodenbedeckung (cover_green) [%] rechts.*

### 3.3.2 Photosynthese Aktivität

Messungen der Photosyntheseleistungt anhand der Assimilationsrate, der Stomatäre Leitfähigkeit und Transpirationsrate zeigen am 18.06.2019 keinen signifikanten Einfluss der Bodenbearbeitungsvariante (Abbildung 25). Anders die Ergebnisse bei den Messungen am 28.06.19 (Abbildung 26). Hier können signifikante Einflüsse der Varianten bei Signifikanzniveau α=0,05 auf die Assimilation Rate (p-wert = 0.00178) und die stomatäre Leitfähigkeit (p-wert= 0,00222) festgestellt werden. Bei der mittleren Assimilationsrate zeigt die Kontrolle die signifikant niedrigsten Werte im Vergleich zu den im Unterstockbewuchs reduzierten Varianten, die Werte der Variante Begrünung/gemulcht liegen in etwa dazwischen. Ähnliche Ergebnisse bringt die Analyse der stomatären Leitfähigkeit. Auch hier sind die Werte bei der Kontrolle am niedrigsten, gefolgt von der Variante Begrünung gemulcht. Beide Varianten zeigen teilweise signifikante Unterschiede zu den Varianten Herbizid, Rollhacke und Stockräumer.

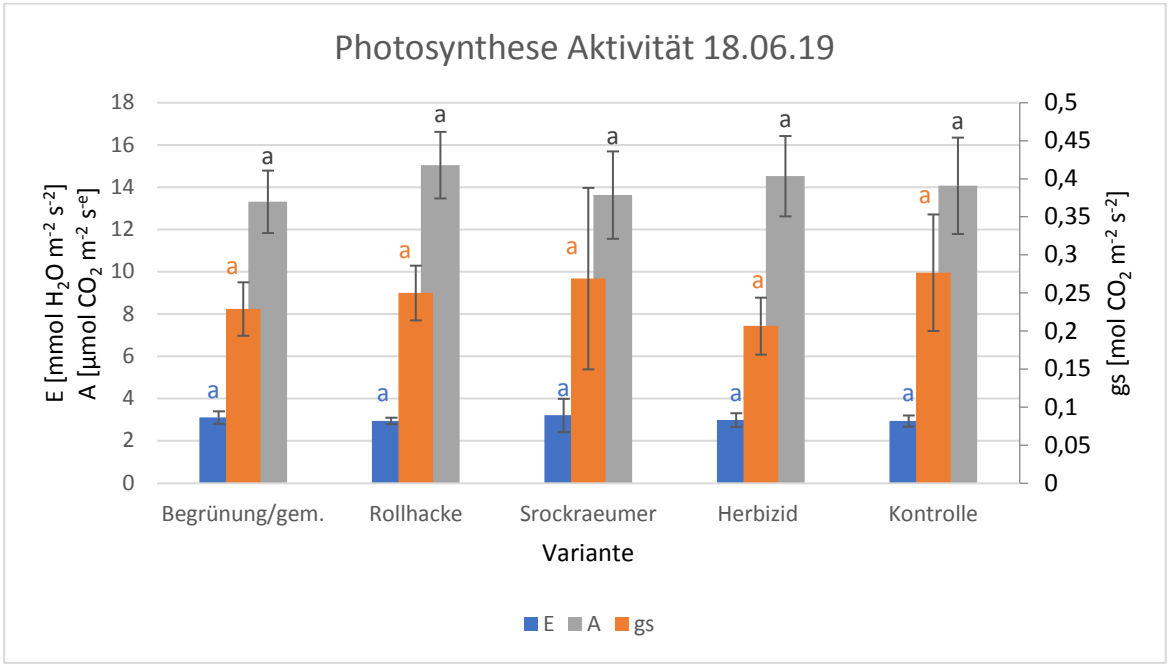


***Abbildung 25:*** *Mittlere Photosynthese Aktivität inkl. Standardabweichung am 18.06.19. E= Transpiration Rate (mmol H2O m-2 s-2); gs= Stomatäre Leitfähigkeit (mol CO2 m-2 s-2); A= Assimilation Rate (µmol CO2 m-2 s-e) (Signifikanzniveau α=0,05, N=3).*

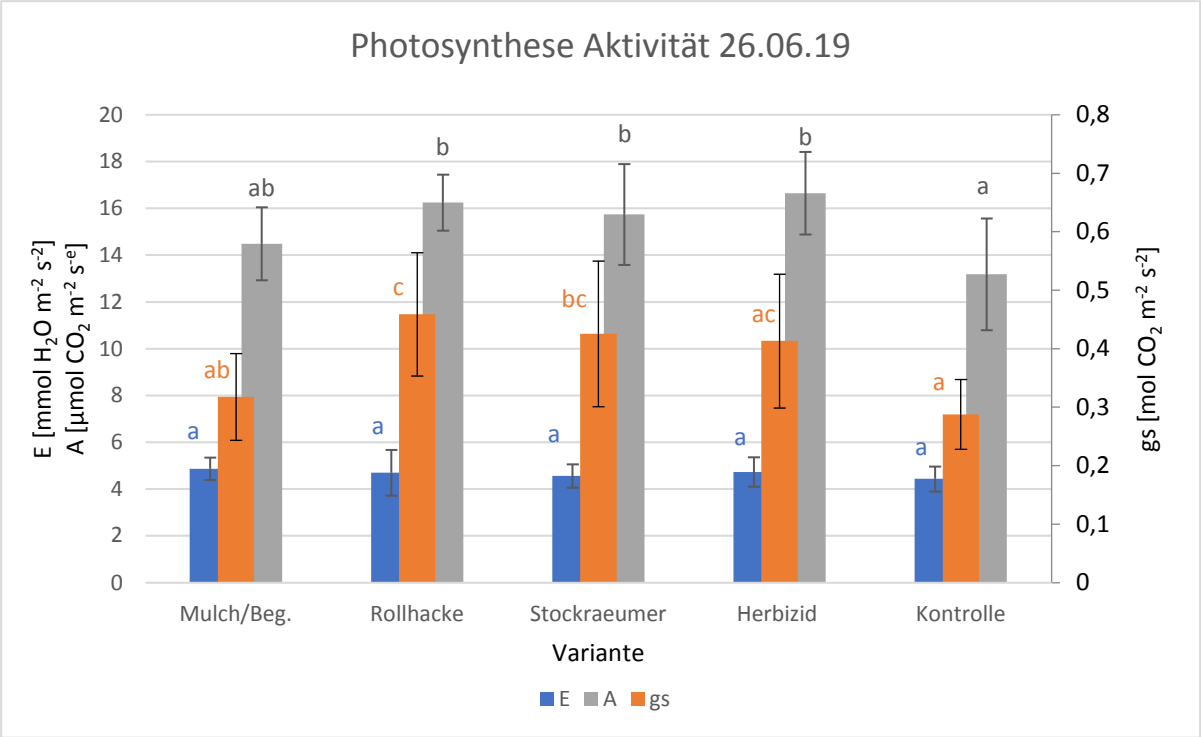


***Abbildung 26:*** *Mittlere Photosynthese Aktivität inkl. Standardabweichung am 26.06.19. E= Transpiration Rate (mmol H2O m-2 s-2); gs= Stomatäre Leitfähigkeit (mol CO2 m-2 s-2); A= Assimilation Rate (µmol CO2 m-2 s-e) (Signifikanzniveau α=0,05, N=3).*

Des Weiteren wurden die Daten der Photosyntheseleistung mit den Ergebnissen der Vegetation im Unterstock in Relation gesetzt (Abbildung 27). Die Analyse der Daten bestätigt einen stark negativen Zusammenhang zwischen Assimilation Rate und dem Anteil der grünen Bedeckung im Unterstockbereich ($R^2$=0,512; R=-0,8984682; p-wert= 0,002706). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Korrelation zwischen stomatäre Leitfähigkeit und grüner Bodenbedeckung ($R^2$= 0,6462; R= -0,9322471; p-wert= 0,0003044). Bei der Transpirationsrate lässt sich keine signifikante Korrelation zu der Effektivität der Bodenbearbeitungsmethode erkennen. Für die Korrelationsanalyse wurden für die Photosyntheseleistung die Daten vom 26.06.2019 und beim Anteil der grünen Bodenbedeckung die Daten vom 12.06.2019 verwendet.

Auch der Einfluss der Enzymaktivität auf die Photosyntheseleistung wurde untersucht. Hierfür wurden die Daten der Bodenenzymaktivität vom 26.06.2019 verwendet. In Abbildung 28 ist ein klarer negativer Zusammenhang zwischen der Aktivität des Enzym AP und der Assimilations-Rate ($R^2$= 0.5029; R= -0,7091682; p-wert= 0,003071) sowie der stomatäre Leitfähigkeit ($R^2$= 0,5099; R= -0,7140667; p-wert= 0,002787) zu erkennen. Dieser Zusammenhang kann wie bei der Bodenbedeckung bei der Transpiration Rate nicht

beobachtet werden. Ähnlich Ergebnisse zeigen sich bei den Enzym LAP und BG, bei denen die Zusammenhänge jedoch nicht so stark ausgeprägt sind (Ergebnisse nicht dargestellt).

Zusammenfassend zeigt sich also, dass die begrünten Varianten (Kontrolle und Begrünung/gemulcht) zu einer Reduktion der Photosyntheseleistung führen hinsichtlich Assimilationsrate und stomatäre Leitfähigkeit.

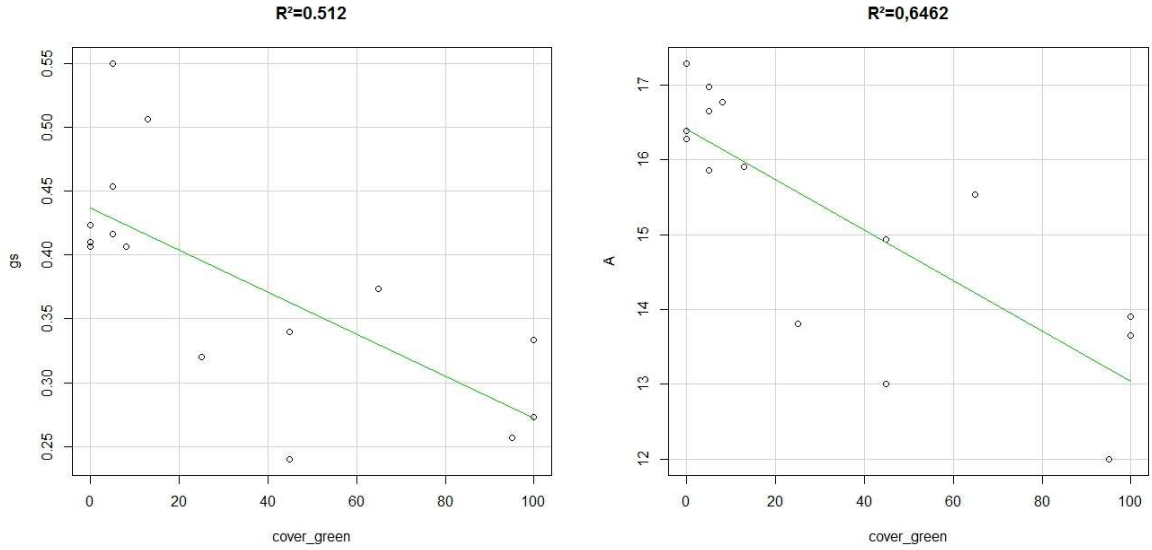


***Abbildung 27:*** *Streudiagramm: Korrelation zwischen Grüner Bodenbedeckung (cover_green,%) und gs= Stomatäre Leitfähigkeit (mol CO2 m-2 s-2) links; A= Assimilations-Rate (µmol CO2 m-2 s-e) rechts.*

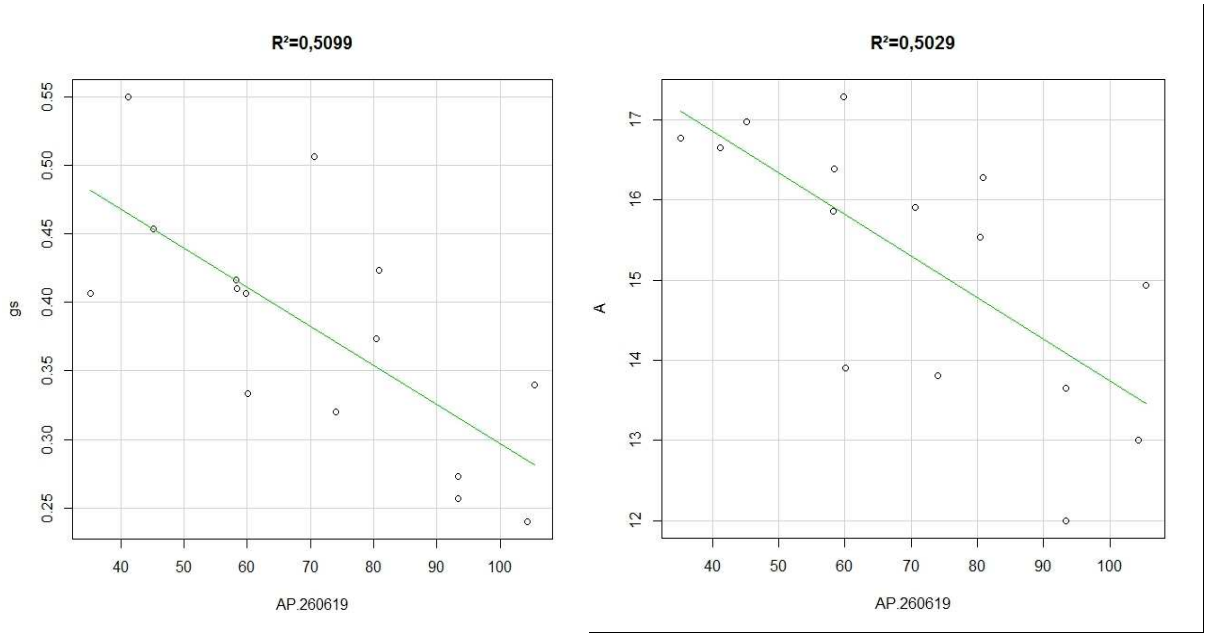


***Abbildung 28:*** *Streudiagramm: Korrelation zwischen AP Aktivität [nmol g-1 h-1] und gs= Stomatäre Leitfähigkeit [mol CO2 m-2 s-2]; A= Assimilations Rate [µmol CO2 m-2 s-e].*

### 3.3.3 Ertrag und Beerengewicht

Der Ertrag wurde anhand des Gewichts/Traube, dem Traubengewicht/Stock und der Traubenanzahl, sowie dem Gewicht der einzelnen Beeren in Abhängigkeit der Variante analysiert (Abbildung 29). Hier erzielen die mechanisch bodenbearbeiteten Varianten Stockräumer (191,11 g/Traube) und Rollhacke (197,13g) die höchsten Werte, gefolgt von der Variante Begrünung/gemulcht (187,11g). Ein signifikanter Einfluss der Variante auf das Gewicht/Traube kann nicht bestätigt werden. (p wert= 0.0972; α= 0,05). Auch die durchschnittliche Anzahl der Trauben pro Rebstock (p wert = 0.392; α= 0,05) und das durchschnittliche Gewicht der Trauben pro Rebstock (p wert = 0.442; α= 0,05) sind nicht signifikant von der Bearbeitungsvariante beeinflusst. Die Varianten Herbizid (33 Trauben/Stock) und Begrünung/gemulcht (32,08) haben die höchsten Werte bei der durchschnittlichen Traubenanzahl. Mit durchschnittlich 28,67 Trauben pro Stock hat die Variante Rollhacke die niedrigste Traubenanzahl aller Varianten. Beim Gewicht der Trauben zeigt sich ein in etwa umgekehrtes Bild, die Variante Rollhacke mit den höchsten Werten, die Variante Herbizid mit den geringsten. Insgesamt gesehen lässt sich also kein signifikanter Einfluss der Behandlungsvariante auf diese Ertragsparameter erkennen.

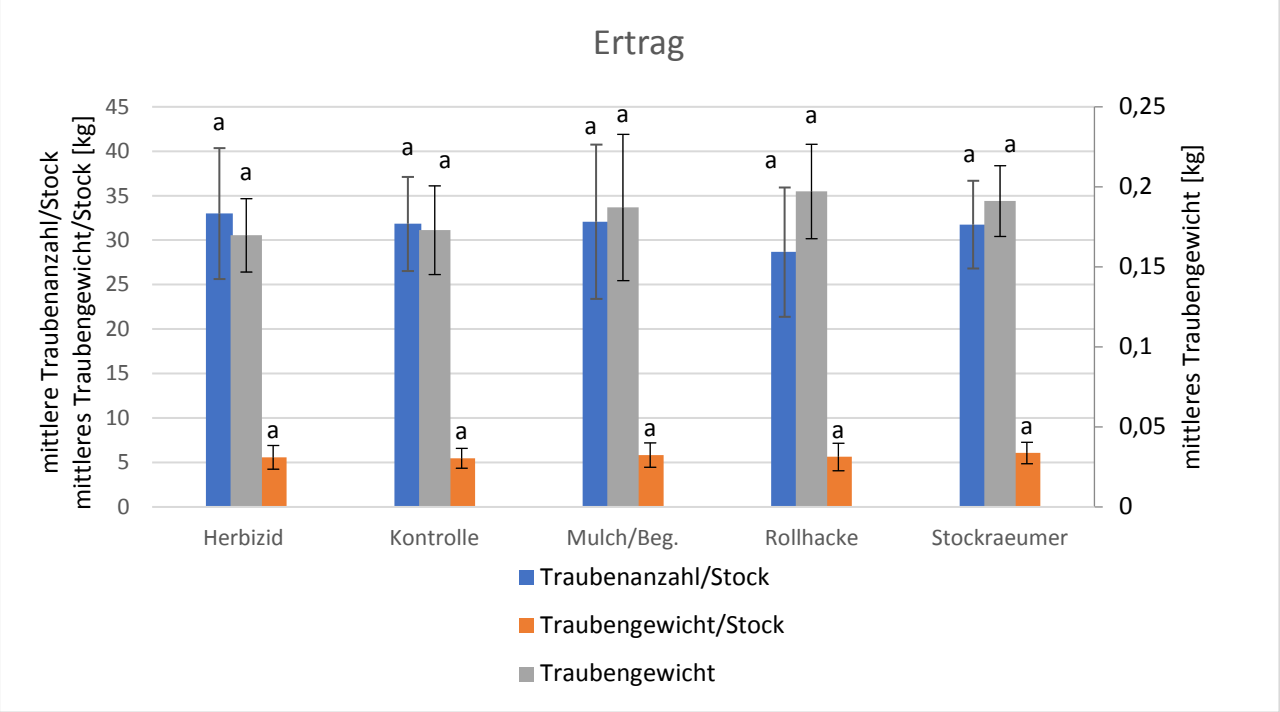


***Abbildung 29:*** *Mittleres Traubengewicht [kg], Traubengewicht/Stock und Traubenanzahl/Stock inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbearbeitungsvariante (Signifikanzniveau α=0,05, N=3).*

Andere Ergebnisse liefern die Daten der Beerengewichtsmessungen, hier können Unterschiede hinsichtlich der Behandlungsvariante anhand statistischer Analysen beobachtet werden (p-wert = 0,0129; α= 0,05). Am 15.08.2019 (Abbildung 30) haben die Varianten Herbizid (1,33g/Beere) und Stockräumer (1,31g) den höchsten Mittelwert beim Beerengewicht. Im Vergleich dazu zeigt die Kontrolle die signifikant niedrigsten Werte bei den Beerengewichtsmessungen (1,08g). Auch am 03.09.2019 zeigt die Kontrolle-Variante die niedrigsten Werte für das mittlere Beerengewicht (1,44g). Im Gegensatz zum ersten Tag der Beerengewichtsmessungen zeigt sich am 03.09.2019 (Abbildung 30) ein signifikanter Unterschied zwischen Rollhacke und Kontrolle (p-wert = 0,0127; α= 0,05).

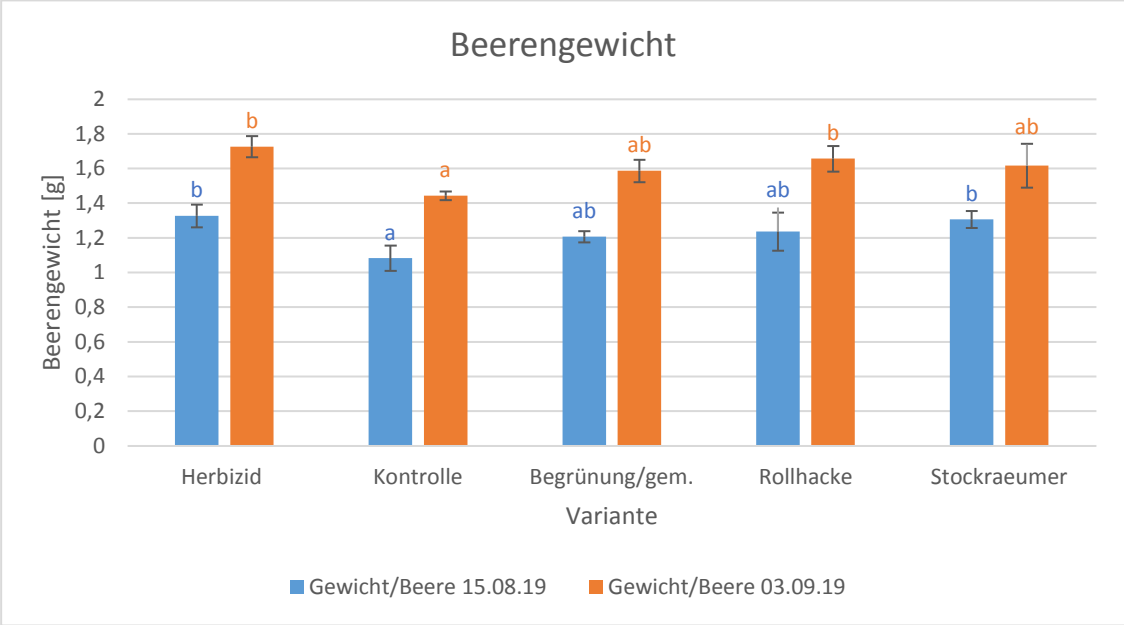


***Abbildung 30:*** *Mittleres Beerengewicht inkl. Standardabweichung in Abhängigkeit der Unterstockbehandlungsvariante am 15.08.2019 und 03.09.2019 (Signifikanzniveau α=0,05, N=3).*

Die Messungen des Beeren- und Traubengewichts wurden auch mit dem Anteil der grünen Bodenbedeckung in Relation gesetzt und analysiert. Hierfür wurde der Mittelwert der Bedeckung der Vegetation aller Messtage verwendet. Das Streudiagramm (Abbildung 31) des Beerengewichts zeigt einen leicht negativen Zusammenhang ($R^2$= 0,4033; R= -0,6350905; p-wert = 0,01096). Im Vergleich dazu lässt sich bei beim Traubengewicht kein Zusammenhang mit dem Anteil der grünen Bodenbedeckung erkennen ($R^2$= 0,03503; R= --0,1871688; p-wert = 0,5042). In der Gesamtheit der Ergebnisse der Ertags- und Beerengewichtmessungen zeigt sich also ein Einfluss der Vegetation im Unterstock auf das Beerengewicht, aber nicht auf die Anzahl der Trauben oder dem Traubengewicht.

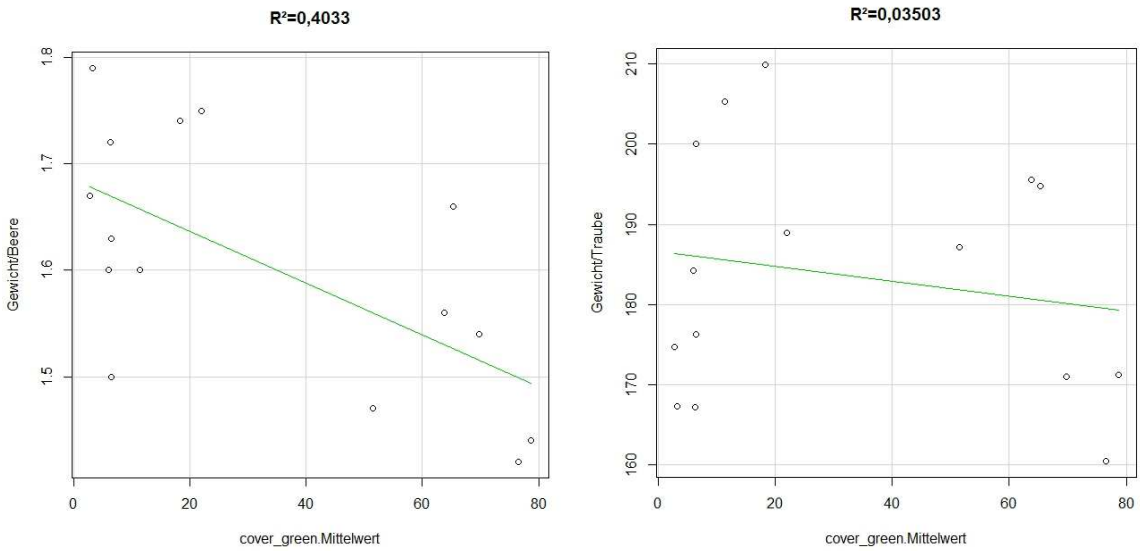


***Abbildung 31:*** *Streudiagramm und Pearson Korrelationsanalyse.Grüne Bodenbedeckung (cover_green [%]); und Beerengewicht [g] links; Traubengewicht[g] rechts.*

### 3.3.5 Reife Parameter (Brix° und Gesamtsäure)

Die Messungen der relativen Dichte (Brix°) und der Gesamtsäure sind nicht signifikant von der Behandlungsvariante beeinflusst. Das zeigen sowohl die Daten vom 15.08.2019 als auch vom 03.09.2019. Am 15.08.2019 zeigt die Variante Stockräumer mit durchschnittlich 12,43 Brix° den höchsten Wert bei den Zuckergehaltmessungen. Am 03.09.2019 hat ebenfalls eine mechanische Variante den Höchstwert. Die Variante Rollhacke hat bei einem durchschnittlichen Zuckergehalt von 18,17 Brix° die höchste relative Dichte. Die niedrigsten Werte beim durchschnittlichen Zuckergehalt, sowohl am 15.08 (11,03 Brix°) als auch am 03.09.2019 (17,3 Brix°) können bei der Variante Begrünung/gemulcht identifiziert werden.

Setzt man diese Reifeparameter mit dem Anteil der grünen Bodenbedeckung in Relation (Abbildung 32-33) lässt sich ein Trend erkennen. Je mehr grüne Bodenbedeckung desto weniger Brix° wurden gemessen, sowohl am 15.08.2019 (R= - 0,6120732; p = 0,0153) als auch am 03.09.2019 (R= - -0,6325818; p = 0,01138). Auch bei der Gesamtsäure (TA) zeigt sich ein ähnliches aber umgekehrtes Bild am 15.08.2019 (R= 0,5840611; p = 0,02224). Anders am 03.09.2019 hier kann dieser Effekt nicht bestätigt werden (R= 0,4361227; p = 0,02224). Insgesamt zeigt sich also eine Abhängigkeit der Reifeparameter, im speziellen der relativen Dichte von der Effektivität der Unterstockbehandlungsvariante bzw. der Vegetation im Unterstockbereich.

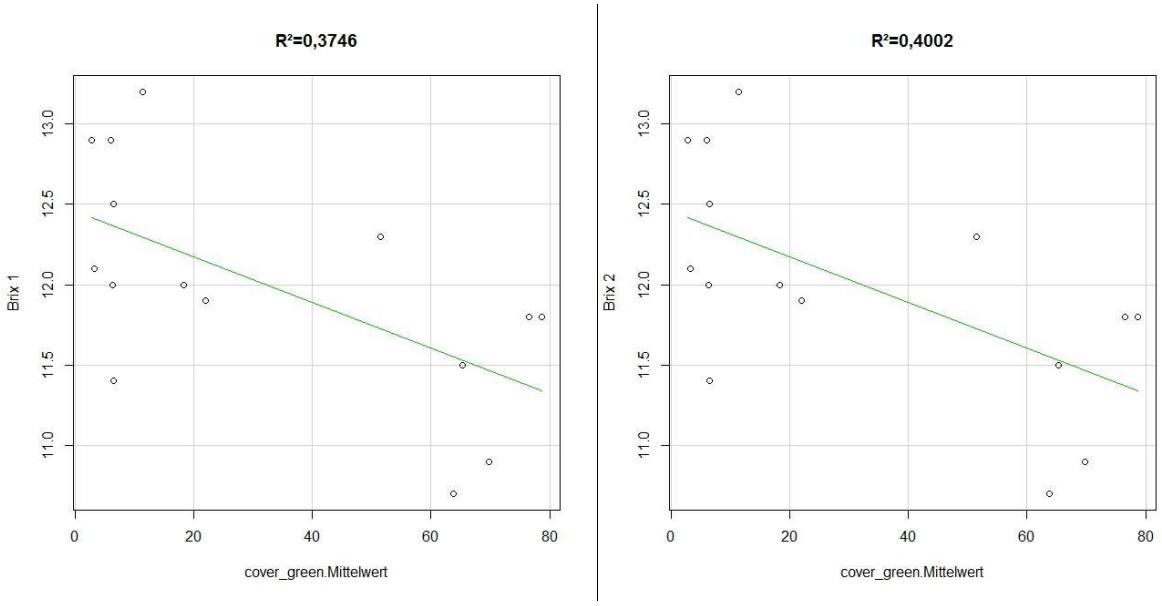


***Abbildung 32:*** *Streudiagramm. Grüne Bodenbedeckung (cover_green [%]); und Relative Dichte (Brix°); links 15.08.2019; rechts 03.09.2019.*

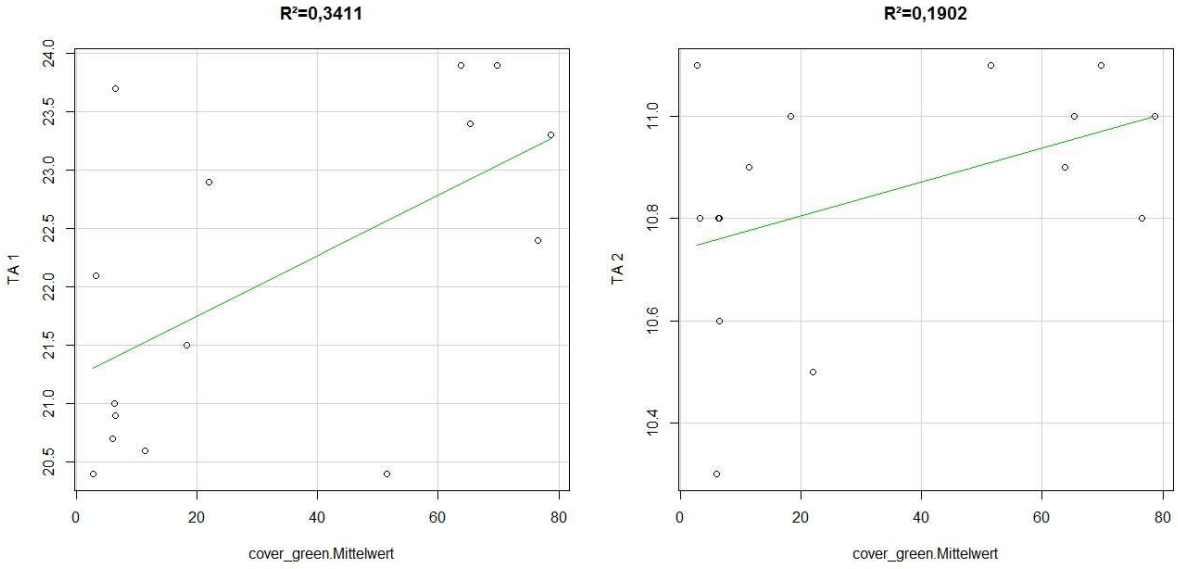


***Abbildung 33:*** *Streudiagramm.Grüne Bodenbedeckung (cover_green [%]); und Gesamtsäure (TA); links 15.08.2019; rechts 03.09.2019.*

# 5. Diskussion

## 5.1. Effekte auf Bodenphysikalische Parameter

Bei den Bodenfeuchtegehalts-Messungen konnte eine Abhängigkeit von Niederschlagverteilung und Bodenbehandlungsvariante beobachtet werden. Die Analyse der Messdaten hat gezeigt, dass in trocken Perioden (12.06.2019, Abbildung 6) der Bodenfeuchtegehalt in einer Tiefe von 10-20cm von der Unterstockbehandlungsvariante abhängig ist. Die Varianten Herbizid, Stockräumer und Rollhacke zeigen Vorteile bei der Erhaltung des Bodenfeuchtegehalts im Vergleich mit der Variante Begrünung/gemulcht Variante und Kontrolle. Die Ergebnisse des gravimetrischen Bodenwassergehaltes am 12.06.2019 können durch eine andere Arbeit, in der mechanisch bearbeiteten Varianten höhere Bodenfeuchtegehalte als begrünte Unterstockbereich zeigten, bestätigt werden (Karl et al. 2016). Durch die Begrünungen kommt es zu einer erhöhten gesamten Transpiration mit einem damit verbundenen höheren Wasserbedarf und einer Zunahme an Konkurrenz für die Reben (Martínez et al. 2020; Lopes et al. 2015). Dieser Effekt könnte durch die erhöhten Temperaturen während der Bodenfeuchtemessungen am 12.06.2020 verstärkt worden sein (Wetterdaten: Abbildung 34).

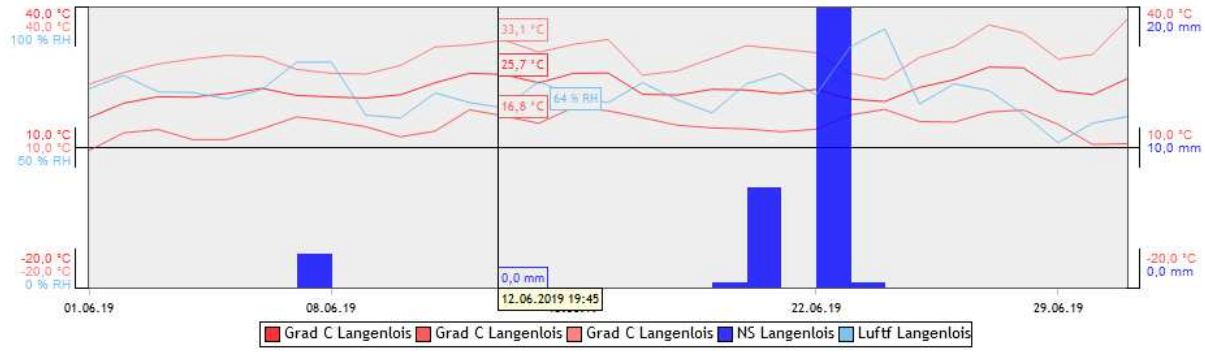


**Abbildung 34:** *Wetterdaten Langenlois Juni 2019. 2. Messtag am 12.06.2019 (adcon.at).*

Die Ergebnisse am 26.06.2019 zeigen eine andere Situation bezgl. Bodenfeuchte, hier gab es vor den Bodenfeuchtemessungen stärkere Niederschläge (Wetterdaten: Abbildung 35) mit der Konsequenz von höheren Bodenfeuchtegehalten bei den Varianten Begrünung/gemulcht vor allem im Vergleich zur Kontrolle (Abbildung 6). Hier zeigt sich eine bessere Infiltration der Niederschläge bei Varianten mit stärken Bewuchs im Unterstock, einen höheren Anteil an organischer Substanz und der besseren hydraulischen Struktur der obersten Bodenschicht (Leonard und Andrieux 1998; Blanco-Canqui et al. 2015). Durch einen geringen Anteil an

organischer Substanz im Boden benötigt es weniger durch Niederschlag erzeugte Energie um Bodenaggregate und Bodenstruktur zu zerstören (Cantón et al. 2009; Six et al. 1999). Häufige Folge davon ist Wasserabfluss an der Oberfläche, aufgrund der erschwerten Aufnahme starker Niederschläge (Gaudin et al. 2010). Diese Aspekte könnten eine Erklärung für die höheren Bodenfeuchtegehalte am 26.06.2019 in den begrünten Varianten verglichen mit mechanischen bearbeiteten Varianten sein. Auch in einem anderen Versuch in einem kühleren Weinbaugebiet (New York, USA) zeigen sich ähnliche Ergebnisse mit einer höheren Bodenfeuchtigkeit in verschieden Mulch-Varianten, verglichen mit Bodenbearbeitung im Unterstockbereich (Hostetler et al. 2007).

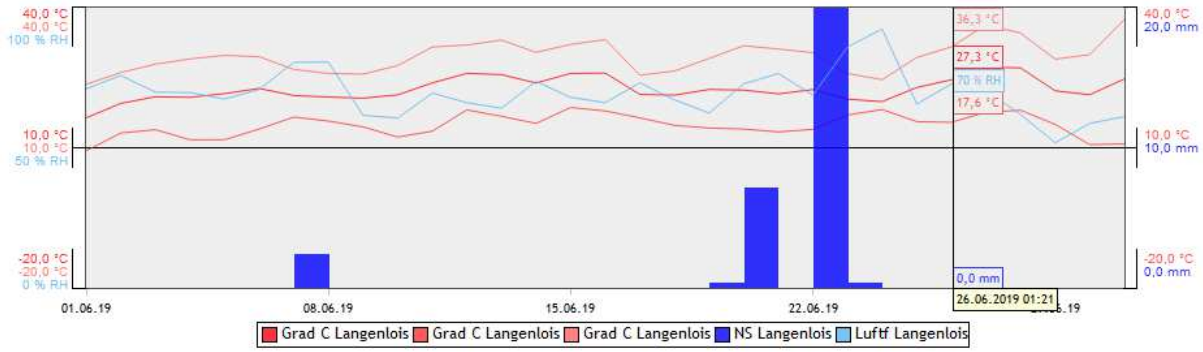


***Abbildung 35: Wetterdaten Langenlois Juni 2019. 3. Messtag am 26.06.2019 (adcon.at).***

In dieser Arbeit zeigt die quantitative Analyse der Unterstockvegetation und die Untersuchung der Effizienz der Bodenbehandlungsvariante die prozentuell niedrigsten Werte für den Bewuchs im Unterstock bei den Varianten Herbizid, Stockräumer und Rollhacke (Abbildung 10). Diese Effizienz der Unterstockbehandlung (Abbildung 10) bezüglich Bewuchs Unterdrückung wurden mit den Bodenfeuchtgehaltsmessungen in Relation gesetzt und bestätigen die oben angeführten Annahmen. Bezgl. Abbildungen 11 und 12 zeigen auch dass die Abhängigkeit der Bodenfeuchte vom Bewuchs im Unterstockbereich im Laufe der Vegetationsperiode abnimmt. Im Laufe der Vegetationsperiode ist dieser Effekt nicht mehr zu beobachten und es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Eine Erklärung dafür ist natürlich die Niederschlagsverteilung im Laufe des Versuchsjahrs. Zusätzlich zeigen und bestätigen andere Studien, dass Begrünungen je nach Spezies einen höheren Wasserbedarf zu Beginn der Vegetationsperiode bis zum Frühsommer haben (Novara et al. 2021).

Die Analyse der Unterstockvegetation hat gezeigt, dass es immer Sommer zu einer Verdrängung der Süßgräser der Gattung *Bromus sterilis* durch die mehrjährige Gattung *Elymus repens* kommt (Tabelle 4). Durch häufiges flaches Mähen oder Mulchen der

spontanen Begrünung kommt es zu einer unkontrollierten Etablierung von konkurrenzstarker Gräser wie z.B *Elymus repens* (Gemeiner Quecke). Diese Entwicklung wurde auch in einem anderem Experiment zu gemulchten Varianten im Unterstockbereich gemacht (Hostetler et al. 2007) . Auch andere Versuche bestätigen die schnelle jahreszeitliche Veränderung der Pflanzenzusammensetzung in spontanen Begrünungen (Garcia et al. 2020a). Durch die Entwicklung dieser Beikräuter kann es zu einer starken Wasserkonkurrenz zwischen Weinrebe und Begrünung kommen (Redl et al. 1996). Aufgrund dieser unkontrollierbaren Veränderung der Vegetationszusammensetzung können die positiven Ergebnisse bezgl. Bodenfeuchtegehalt und Unterstockvegetation nur als eine Momentaufnahme für das Jahr 2019 angesehen werden.

## 5.2. Effekte auf die bodenbiologische Aktivität

Die Untersuchung der Bodenenzyme während der Versuche hat ergeben, dass die Aktivität der Enzyme Saure Phosphatase (AP), Leucin Aminopeptidase (LAP) und Beta Glucosidase (BG) keine signifikante Kausalität zur Bodenfeuchte in 0-10 und 10-20cm Tiefe zeigt. Ein direkter Einfluss des Bodenfeuchtegehalts auf die Aktivität der Enzyme, wie in anderen Versuchen (Pandey et al. 2014) kann mit diesem Experiment nicht bestätigt werden.

Die Bodenenzyme zeigen aber eine signifikante Korrelation zum prozentuellen Anteil des Bewuchses im Unterstock. Dieser Zusammenhang zeigt sich vor allem am Ende des durchgeführten Versuchs für alle 3 Enzyme (Abbildung 20-22). Diese Ergebnisse und der signifikanten positiven Korrelation zwischen Enzymaktivität und grüner Bodenbedeckung über den ganzen Versuch hinweg deuten auf einen starken Einfluss der organischen Substanz auf die mikrobielle Aktivität im Boden hin. Versuche mit Begrünungen haben gezeigt, dass diese einen Einfluss auf den Gehalt an organischen Kohlenstoff und dem mikrobiellen Bodenleben haben. Durch die Veränderung der Bodenbewirtschaftung kommt es zu einer Veränderung der Bakterien- und Pilzgesellschaft im Boden (Salomé et al. 2016; Novara et al. 2020). Durch die Reduktion der mechanischen Bodenbearbeitung kommt es zu einer Erhöhung des Kohlenstoffgehalts im Boden aufgrund der pflanzlichen Biomasse der Begrünungen. Die Anreicherung von Kohlenstoff und die Erhöhung der mikrobiellen Aktivität führt zu einer Steigerung der Enzymaktivität. (Acosta-Martínez et al. 2008). Bei der Betrachtung der Enzymaktivität im zeitlichen Verlauf (Abbildung 14-16) fällt eine Abnahme der Aktivität in allen Varianten beim Enzym BG auf. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich auch bei AP, mit Ausnahme der Variante Begrünung gemulcht. Diese Abnahme der Enzymaktivität wird auch in anderen Arbeiten beschrieben. Versuche in Frankreich und Italien liefern

ebenfalls Resultate mit einer kurzeitig erhöhten Enzymaktivität bei gemulchten Begrünungen in Fahrgassen (Lagomarsino et al. 2018). Eine Erklärung hierfür kann auch der erhöhte Phosphor Bedarf bei bestimmten Pflanzenarten beim Wachstum sein, vor allem zu Beginn der Pflanzenkeimung. (Yadav und Tarafdar 2001).

Die Ergebnisse der Enzymaktivitätsmessungen über den ganzen Zeitraum (Abbildung 13) zeigen bei der Variante Herbizid keine Auffälligkeiten bezgl. einer Reduktion der mittleren Enzymaktivität. Im Vergleich zu den mechanischen, bearbeiteten Varianten vor allem zur Stockräumer Variante zeigt sich kein signifikanter Unterschied. Die Variante Stockräumer zeigt ähnlich niedrige Ergebnisse bei der Enzymaktivität. Auch andere Arbeiten zu dieser Fragestellung auch aus anderen Kulturen bestätigen diese Erkenntnisse für Unterstockbehandlung in Weingärten. (Singh und Ghoshal 2013) haben gezeigt, dass das Herbizid Butachlor in Wechselwirkung mit Bodenänderungen in der Reis-Weizen Fruchtfolge die Aktivität der Bodenenzyme β-Glucosidase, Urease und Alkalische Phosphatase in Reis-Weizen Fruchtfolge sogar erhöhen können. Das Herbizid Glyphosat, welches auch in diesem Versuch verwendet wurde, kann bei sehr hohen Konzentrationen eine negative Wirkung auf die Enzym Aktivität zeigen (Zabaloy et al. 2008). Bei den in diesem Experiment verwendeten Dosierungen des Herbizids Glyphosat zeigt sich kein negativer Einfluss auf die mikrobielle Aktivität im Vergleich zu mechanischen Bodenbearbeitungsvarianten.

Das Enzym AP wird v.a. von den Pflanzenwurzel abgegeben. Vor allem Leguminosen sind für einen Großteil der AP Absonderung verantwortlich (Izaguirre-Mayoral et al. 2002). Bei Betrachtung der Zusammensetzung der Unterstockvegetation (Tabelle 4) spielen die Leguminosen keine große Rolle. In diesem Versuch scheint das Enzym AP hauptsächlich von Gräsern und anderen Pflanzen des Unterstockbewuchses, sowie von Bakterien im Boden abgesondert zu werden. Ungeklärt ist, wie stark die Ergebnisse der AP Aktivität von den Leguminosen in der Fahrgasse des Versuchsweingarten beeinflusst sind. Unabhängig von der Zusammensetzung des Pflanzenbestands im Unterstock zeigt sich ein klarer Trend bei der AP Aktivität. Die AP Aktivität bei der Variante nimmt konstant im Laufe des Experiments zu (Abbildung 14 und 17).

Die Auswirkung der Enzymaktivität auf die Vitalität der Reben lassen sich nur schwer interpretieren. Ähnlich wie der Anteil an Bewuchs zeigt auch die Aktivität von AP einen negativen signifikanten Zusammenhang zur stomatäre Leitfähigkeit und Assimilationsrate (Abbildung 28). Inwieweit dieser negative Effekt auf die Bodenvitalität bzw. Enzymaktivität

zurückzuführen werden könnte, benötigt eine genauere Untersuchung. Mit den Daten dieser Arbeit muss davon ausgegangen werden, dass die Effekte auf Wasser und Nährstoff Konkurrenz der Begrünung zurück zu führen sind.

## 5.3. Effekte auf die Rebenvitalität und Ertragsphysiologie

Die oben diskutierten geringeren Bodenfeuchtegehaltsmessungen am 12.06.2019 zeigen keinen Einfluss auf die Photosyntheseleistung der Reben am 18.06.2019 hinsichtlich Transpiration Rate, Assimilationsrate und stomatäre Leitfähigkeit . Es konnten keine negativen signifikanten Auswirkungen der Unterstockbehandlungsvarianten auf die Photosyntheseleistung am 18.06.2019 festgestellt werden (Abbildung 25). Ein Grund für diese Ergebnisse bezgl. der Photosyntheseleistung kann die Fähigkeit der Rebe sein, den Wasserbedarf durch ein intensiveres vertikales Wurzelwachstum bei entsprechender Konkurrenz durch Begrünungen zu decken (Tomaz et al. 2017).

Die Resultate der Photosyntheseleistung am 26.06.2019 zeigen bei der Variante Begrünung/Mulch und Kontrolle signifikante niedrigere Werte bei der Assimilationsrate und der stomatären Leitfähigkeit (Abbildung 26), trotz der Niederschläge davor und dem höheren Bodenfeuchtegehalt. Diese Erkenntnisse werden durch die Korrelationsanalysen bestätigt (Abbildung 27). Das Schließen der Stomata ist u.a. einer der ersten Reaktionen der Blätter auf unzureichende Wasser Versorgung im Boden (Lovisolo et al. 2010). Diese Effekte können jedoch auch andere Ursachen unabhängig der Wasserversorgung haben. An heißen Tagen und entsprechendem Sättigungsdefizit der Luft kann in den Leitungsgeweben der Rebe nicht genügend Wasser nachtransportiert werden, dadurch kann es zu einer Depression der stomatären Leitfähigkeit während der Mittagszeit bei hohen sehr hohen Temperaturen kommen (Moutinho-Pereira et al. 2004). Darüber hinaus kann es durch starke Sonneneinstrahlung und Belichtungsintensität während der Mittagszeit zur Inhibition der Photosynthese kommen und zu einer geringen Assimilationsrate trotz ausreichendem Bodenfeuchtegehalt führen (Keller 2010). Bei genauer Betrachtung der Wetterdaten (Abbildung 35) und dem Zeitpunkt der Photosynthese-Aktivitätsmessungen (26.06.2019) könnte auch das eine schlüssige Erklärung für die verminderte Photosyntheseleistung sein.

Konkurrenzeffekte können beim vegetativen Wachstum bzw. bei den Messungen der Trieblängen am 12.06.2019 beobachtet werden (Abbildung 23). In Summe zeigen die nicht begrünten Varianten die höchsten Werte bei den Trieblängenmessungen. Zusätzlich zeigen die Daten auch eine schwache Kausalität zwischen grüner Bodenbedeckung und

Triebwachstum (Abbildung 24). Bei den Messungen am 21.05.2019 gibt es eine ähnliche Rangfolge der Ergebnisse, signifikante Unterschiede bei den Varianten gibt es aber nicht. Auch die Untersuchungen von (Chou und Vanden Heuvel 2019) zeigen geringfügige Einflüsse der Unterstockbegrünung mit verschieden Pflanzen auf das Trieblängenwachstum. Der Einfluss der Unterstockbehandlungsvariante auf das vegetative Wachstum wird auch in anderen Arbeiten bestätigt (Guerra und Steenwerth 2012). Inwieweit dieser Effekt auf eine unzureichende Wasserversorgung zurückzuführen ist, kann aufgrund fehlender Daten zum Wasserstatus der Reben nicht genau beantwortet werden. Andere Arbeiten belegen die starke Abhängigkeit des Trieblängen Wachstums von der Wasserversorgung (Pellegrino et al. 2005). Betrachtet man diese Ergebnisse in Relation zu der zum Zeitpunkt der Messungen vorherrschende Witterung kommen die Konkurrenzeffekte durch den Bewuchs im Unterstock nicht unerwartet. 2 Wochen vor den Messungen der Trieblängen am 12.06.2019 gab es in Summe nur 7mm Niederschläge. Andere Arbeiten zeigen, dass der Einfluss der Begrünung auf den Triebwachstum nur in Jahren mit wenig Niederschlag während der vegetativen Wachstumsphase signifikant ist (Pou et al. 2016). Die in der Variante Begrünung/gemulcht reduzierte Wüchsigkeit lässt sich auch anhand der geringen Bodenfeuchtegehalte am 12.06.2019 erklären. Begrünungen haben eine geringere Verfügbarkeit von Wasser für die Reben zur Folge und können das Wachstum einschränken (Monteiro und Lopes 2007). Aufgrund der geringen Bodenfeuchteverfügbarkeit stehen auch weniger für das Wachstum wichtige Nährstoffe (wie z.B. Stickstoff) welche über das Bodenfeuchte aufgenommen werden für die Rebe zur Verfügung (Tesic et al. 2007).

Das Reben Schnittholzgewicht ist ein weiterer Parameter um die Wüchsigkeit der Reben darstellen zu können (Taylor und Bates 2012). Während die Trieblängen Messung nur eine Momentaufnahme während der vegetativen Wachstumsphase zeigt, lässt die Messung des Schnittholzgewichts Rückschlüsse auf das Wachstum einjähriger Triebe über die komplette Vegetationsperiode zu. Im Vergleich zu anderen Arbeiten (Tesic et al. 2007; Giese et al. 2014) und den Ergebnissen vom Trieblängenwachstum zeigen sich hier keine signifikanten Unterschiede bei den Unterstockbehandlungsvarianten. Andererseits zeigt sich ähnlich wie beim Trieblängen Wachstum auch hier eine schwache, aber signifikante negative Korrelation zwischen Schnittholzgewicht und dem Bewuchs im Unterstock. Der Einfluss der Unterstockbegrünung ist auch von der Pflanzenart abhängig. Die Gemeine Wegwarte zum Beispiel zeigt in Untersuchungen stark negativen Einfluss auf das Schnittholzgewicht (Chou und Vanden Heuvel 2019). Andere Arbeiten (Baumgartner et al. 2008) bestätigen die

Ergebnisse dieses Experiments, die Arbeit zeigt ebenfalls keinen signifikanten Einfluss verschiedener einjähriger und mehrjähriger Begrünungen in den Fahrgassen in auf das Rebenschnittholzgewicht haben. Auch Versuche mit verschieden Unterstockmulchvarianten zeigen keine signifikanten Unterscheide zu mechanischen Unterstockbehandlungsvarianten hinsichtlich Schnittholzgewicht (Hostetler et al. 2007). Eine Erklärung dafür kann die Wasserspeicherfähigkeit bestimmter Böden sein und dem damit verbundenen Ausgleich der Wasserverfügbarkeit für das Rebenwachstum (Baumgartner et al. 2007). Es zeigt sich, dass die negativen Auswirkungen auf das Trieblängenwachstum Anfang Juni im Laufe der Wachstumsphase ausgeglichen werden können. Um die Effekte auf das vegetative Wachstum besser beurteilen zu können, müssten weitere Messung des Reben- und Bodenfeuchtepotentials durchgeführt werden.

Das Rebschnittholz sollte ein Gewicht zwischen 0,3-0,6 kg pro m Laubwandlänge haben (Keller 2010). Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass keine Variante diese Richtwerte unter oder überschreiten. In der Arbeit von (Chou und Vanden Heuvel 2019) zeigt das Schnittholzgewicht ein stark reduziertes Gewicht von 0,18kg/Rebe bei der Variante Unterstockbegrünung mit der Art Gemeinen Wegwarte.

Auffällig bei den Ertragsmessungen (Abbildung 29) ist, dass die Variante Herbizid die niedrigsten Werte bei dem Traubengewicht/Stock zeigt. Den höchsten Ertrag liefern die mechanisch bearbeiteten Varianten. Die Variante Begrünung/gemulcht zeigt bei den Ertragsmessungen durchschnittliche Werte. Verglichen mit anderen Arbeiten (Hickey et al. 2016) mit durchschnittlich 3,86 kg/Rebe deutlich geringere Werte als in dieser Arbeit mit knapp 6kg/Stock bei der Variante Begrünung/gemulcht. Bei der Betrachtung der Variante Rollhacke fällt die geringe durchschnittliche Anzahl an Trauben pro Stock auf. Dafür zeigt diese Variante das höchste durchschnittliche Traubengewicht aller Varianten. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen der Beerengewichtsmessungen am 03.09.2019 zeigt die Variante Rollhacke auch hier relativ hohe Werte (Abbildung 30). Die Ergebnisse der Variante erklären sich aufgrund der geringen durchschnittlichen Anzahl von Trauben pro Rebstock und die resultierende Anzahl an ‘sinks‘. Die Weinrebe kann so den Ertragsverlust durch größere Trauben, höhere Beerengewichte und einer kompakteren Traubenstruktur kompensieren (Keller 2010). Welche Ursache die reduzierte Anzahl an Gescheine bei der Variante Rollhacke haben, kann nicht geklärt werden.

Zusammenfassend zeigen die Messungen des Ertrags keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit der Unterstockbehandlungsvariante. Auch die schon beim Parameter Rebschnittholzgewicht zitierte Arbeit (Baumgartner et al. 2008) zeigt, dass der Ertrag nicht in erster Linie von den Unterstockbehandlungsvarianten abhängig ist, sondern die Bodenart diesen Effekt ausgleichen kann. Darüber hinaus zeigen Experimente, dass ältere Weinreben aufgrund der besser etablierten Wurzel Systeme besser mit der Konkurrenz durch Begrünungen umgehen können (Steenwerth et al. 2013). In anderen Experimenten zeigt sich sehr wohl eine Abhängigkeit des Ertrags von der Bearbeitungsmethode. Diese Abhängigkeit nimmt im Laufe der Jahre zu und zeigt sich am stärksten in trockenen warmen Jahren (Tesic et al. 2007). Im Vergleich anderer Experimente zeigt diese Arbeit nur eine Momentaufnahme für das Jahr 2019. Abschließend können die Ergebnisse der Ertrags Messungen anhand der Abbildung 31 zusammengefasst werden. Hier zeigen die 2 Streudiagramme, dass es zwar eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Bewuchs im Unterstock gibt. Von einer Kausalität zwischen Ertrag und Bewuchs kann nicht ausgegangen werden.

Im Vergleich zu den Ertragsmessungen bezogen auf ganze Trauben, lassen sich beim Beerengewicht sehr wohl Unterschiede erkennen. Betrachtet man die Ergebnisse zusammen, zeigen die bewährten Unterstockpflegemaßnahmen Herbizid, Stockräumer und Rollhacke das größte Beerengewicht. Die Kontrolle zeigt an beiden Messtagen die signifikant niedrigsten Werte. Betrachtet man die Wetterdaten und den physiologischen Verlauf der Rebe im Jahr des Versuchs, zeigen sich relativ trockene Bedingungen in der Zellteilungsphase der Rebe. Im Zeitraum während die Gescheine am 29.05.2019 sich voll entwickelt zeigten (BBCH: 55/57) und dem Abwurf der letzten Blütenkäppchen bzw. Schrottkorngröße Beeren erkennbar waren am 19.06.2019 (BBCH 71-73) gab es in 21 Tagen in Summe nur ca. 7mm Niederschlag.

Stress durch die Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit während der Zellteilungsphase vor und während der Blüte kann zu einer Reduktion des Fruchtansatzes und einer Beschränkung der Beerengröße führen. Die Zellteilungsrate ist höher vor der Blüte als danach und diese kann durch Trockenstress erheblich reduziert werden. Zusammenfassend wird die Beerengröße durch Wasserstress vor der *Véraison* stärker beeinflusst als danach (Keller 2010). Diese Annahme wird auch durch Untersuchungen (Tesic et al. 2007) bekräftigt. Die Arbeit zeigte ebenfalls geringere Beerengewichte in Abhängigkeit der Bodenbehandlungsvariante. Darüber hinaus zeigte sie, dass bereits zum Zeitpunkt der *Véraison* Unterschiede im Beerengewicht festzustellen sind. Diese Ergebnisse bestätigen unsere Resultate und lassen darauf schließen,

dass die Konkurrenz durch den Bewuchs im Unterstock unter den vorherrschenden klimatischen Bedingungen einen Einfluss auf die Beerengröße und das Beerengewicht haben.

Dieser Effekt kann auch positive Auswirkungen auf die Traubengesundheit bzw. auf die Anfälligkeit gegenüber *Botrytis cinera* haben. Nicht nur durch den Einfluss auf das Beerengewicht und der Traubenstruktur sondern auch durch die Reduktion für den Schadenpilz benötigten Stickstoffgehalt in den Beeren (Coniberti et al. 2018).

Die Ergebnisse dieses Experiment zeigen keinen signifikanten Einfluss der Bodenbehandlungsvariante auf den Zuckergehalt (Brix°) und die Gesamtsäure (g/l). Anders als in anderen Arbeiten (Wheeler et al. 2005) zeigen die Ergebnisse dieses Experiments die Varianten mit Bewuchs im Unterstock keine Erhöhung des Zuckergehalts und Reduktion der Gesamtsäure. Die Abbildungen 32-33 lassen darauf schließen, dass mit steigendem Begrünungsanteil im Unterstock der Gehalt an Zucker abnimmt und die Gesamtsäure steigt.

Es stellt sich die Frage, ob diese signifikanten Zusammenhänge durch eine starke Abnahme der Photosyntheseleistung zu erklären ist oder nur eine Verzögerung der Reife. Andere Untersuchungen haben gezeigt, dass eine übermäßige Wasserversorgung nach der *Véraison* die Reife der Beeren verzögern kann (Wasko 2010). Die Bodenfeuchte spielt eine wesentliche Rolle bei der Bodentemperatur, feuchte Böden sind kühler als trockene (Tesic et al. 2002) und Untersuchungen haben gezeigt, wie die Bodentemperatur im Wurzelraum zusammen mit der Lufttemperatur die Phänologie beeinflussen können. Kalte Böden können z.B. die Reife verzögern, während schnell erwärmbare Böden diesen Prozess beschleunigen können (van Leeuwen et al. 2018). In unserer Arbeit wurden Bodenfeuchtemessungen nur bis zum 31.07.2019 durchgeführt und hier zeigten die begrünten Varianten die höchsten Werte bezgl. Bodenfeuchtegehalt (Abbildung 9). Die *Véraison* und der Beginn der Traubenreife fanden im Jahr 2019 in Langenlois Anfang August statt. Diese Arbeit liefert also keine ausreichenden Daten, durch welche eine Kausalität zwischen erhöhter Wasserverfügbarkeit durch gemulchte Begrünungen und der Verzögerung der Beerenreife erkennbar ist.

## 6.Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Arbeit haben gezeigt, dass die Aktivität aller drei untersuchten Bodenenzyme (Saure Phosphatase (AP), Leucin Aminopeptidase (LAP) und Beta Glucosidase (BG) von der Bodenbearbeitungsvariante beeinflusst sind. Mit Fortdauer des Versuchs wurde dieser Einfluss immer stärker und deutlicher. Es zeigte sich eine Erhöhung der Enzymaktivität in den Varianten Begrünung/gemulcht und der Kontrolle. Inwieweit die Enzym Aktivität das Agrarkultursystem Weingarten beeinflusst kann mit dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Die in der Einleitung aufgestellte Hypothese Bodenenzyme sind adäquate Indikatoren, um Veränderungsprozesse im Weingarten darzustellen kann mit den erzielten Resultaten nicht bestätigt werden. Hierfür zeigt die Arbeit einen viel zu kurzen Beobachtungszeitraum. Die Auswirkungen der Unterstockbehandlungsvariante auf die Enzymaktivität müssen über mehrere Jahre analysiert werden. Darüber hinaus bedarf es zusätzlicher Parameter, wie z.B. die Analyse der Nährstoffe im Boden um die Ergebnisse in Relation setzen und Kausalitäten ausmanchen zu können. Mit den in dieser Arbeit generierten Daten ist ein gesamtheitlicher Blick auf die Enzymektivität und Weingarten schwer möglich.

Nichts desto trotz zeigen die Ergebnisse der Enzymuntersuchungen eine Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Begrünung im Unterstockbereich. Je höher der Anteil an grünen Bewuchs desto höher zeigt sich die Enzymaktivität. Dieser Zusammenhang nimmt im Verlauf des Versuchs deutlich zu. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen anderer Arbeiten zu diesem Thema lässt sich dadurch die Hypothese bestätigen, dass Begrünungen im Unterstockbereich sowohl den Anteil an organischer Substanz und als auch die Enzymaktivität im Weingartenboden verbessern bzw. stimulieren kann.

Die Ergebnisse und Analysen der einzelnen Varianten zeigen bei der Variante Herbizid signifikante Unterschiede und reduzierte Werte bei der Enzymaktivität im Vergleich zu den begrünten Varianten. Ähnliche Effekte wurde jedoch auch bei der mechanischen Variante Stockräumer beobachtet. Es kann dadurch also nicht bestätigt werden, dass einen direkten Einfluss der Herbizidapplikation auf das mikrobielle Bodenleben hinsichtlich der Enzymaktivität gibt. Bei sachgerechter Anwendung und Dosierung des Herbizid Glyphosat zeigt sich keine direkte Beeinträchtigung der Enzymaktivität. Die geringeren Werte lassen sich vielmehr auf den reduzierten Gehalt an organischer Masse zurückführen. Hiermit kann die Hypothese, dass Herbizide einen negativen Einfluss auf die Enzym Aktivität im Weingartenboden haben verworfen werden.

Zusammenfassend deuten die Ergebnisse der Arbeit auf eine Zunahme der Bodenvitalität mit Dauer des Versuchs in Abhängigkeit der Begrünungen bzw. des Bodenpflegemanagements im Unterstockbereich hin.

Auch wenn die Begrünungen im Unterstockbereich positive Effekte auf die Bodenvitalität mit sich bringen, können diese die physiologische Entwicklung sowohl positiv und als auch negativ beeinflussen. In diesen Versuch zeigen sich nur geringfügige Einflüsse der Begrünung auf die untersuchten Parameter. Nur bei wenigen Parametern lassen sich signifikante Einflüsse der Unterstockbehandlungsvariante auf die vegetative oder generative Entwicklung der Rebe erkennen. In Summe zeigte sich ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen der Begrünung und dem vegetativen Wachstum. Die durch diese Arbeit generierten Ergebnisse der untersuchten Parameter konnten jedoch keinen Hinweis darüber geben, dass es aufgrund der Unterstockbehandlungsvariante zu Stresssituation oder einer signifikanten Reduktion des Ertrags kommt. Lediglich die Untersuchung des Beerengewichts zeigte bei der Analyse signifikante höhere Werte bei den Varianten mit mechanisch oder mit Herbizid behandelten Unterstockbereichen.

Berücksichtigt man noch die verbesserte Aufnahmefähigkeit von größeren Niederschlagssummen und der Vermeidung von Erosion lassen die Ergebnisse dieser Arbeit darauf schließen, dass spontane Begrünungen eine Alternative für den Unterstockbereich darstellen könnten. Wichtig ist, wie sich die Zusammensetzung der Begrünungen im Unterstockbereich in den folgenden Jahren entwickeln wird. Bei Etablierung konkurrenzstarker Beikräuter wie z.B. *Elymus repens*. könnten die Ergebnisse bezgl. Rebenvitalität anders aussehen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie ein erhöhter Anteil organischer Substanz und eine höhere Enzymaktivität Konkurrenzeffekte mit Fortdauer dieses Versuchs ausgleichen könnte.

Betrachtet man die Ergebnisse unseres Versuchs kann die in dieser Arbeit aufgestellte Hypothese, dass gemulchte Begrünungen im Unterstockbereich eine geeignete Alternative zu mechanischer und chemischer Unkrautkontrolle sind bestätigt werden. Welche Auswirkungen die Unterstockbegrünungen in der oben beschriebenen Versuchsumgebung auf die Wein Qualität und Stilistik haben, ist nicht Teil dieser Arbeit.

## 7.Literaturverzeichnis

Abad, Javier; Diana, Marín; L. Gonzaga, Santesteban; José Félix, Cibriáin; Ana, Sagüés (2020): Under-vine cover crops: impact on weed development, yield and grape composition. In: *OENO One* 54 (4), S. 975–983. DOI: 10.20870/oeno-one.2020.54.4.4149.

Acosta-Martínez, V.; Acosta-Mercado, D.; Sotomayor-Ramírez, D.; Cruz-Rodríguez, L. (2008): Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils. In: *Applied Soil Ecology* 38 (3), S. 249–260. DOI: 10.1016/j.apsoil.2007.10.012.

Alkorta, Itziar; Aizpurua, Ana; Riga, Patrick; Albizu, Isabel; Amézaga, Ibone; Garbisu, Carlos (2003): Soil enzyme activities as biological indicators of soil health. In: *Reviews on environmental health* 18 (1), S. 65–73. DOI: 10.1515/REVEH.2003.18.1.65.

Bandick, Anna K.; Dick, Richard P. (1999): Field management effects on soil enzyme activities. In: *Soil Biology and Biochemistry* 31 (11), S. 1471–1479. DOI: 10.1016/S0038-0717(99)00051-6.

Barberi, P. (2002): Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? In: *Weed Res* 42 (3), S. 177–193. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2002.00277.x.

Bauer, Karl; Regner, Ferdinand; Friedrich, Barbara (2019): Weinbau. 13. aktualisierte Auflage. München: avBUCH (AV-Fachbuch).

Baumgartner, Kendra; Steenwerth, Kerri L.; Veilleux, Lissa (2007): Effects of Organic and Conventional Practices on Weed Control in a Perennial Cropping System. In: *Weed sci.* 55 (4), S. 352–358. DOI: 10.1614/WS-06-171.

Baumgartner, Kendra; Steenwerth, Kerri L.; Veilleux, Lissa (2008): Cover-Crop Systems Affect Weed Communities in a California Vineyard. In: *Weed sci.* 56 (4), S. 596–605. DOI: 10.1614/WS-07-181.1.

Blanco-Canqui, Humberto; Shaver, Tim M.; Lindquist, John L.; Shapiro, Charles A.; Elmore, Roger W.; Francis, Charles A.; Hergert, Gary W. (2015): Cover Crops and Ecosystem Services: Insights from Studies in Temperate Soils. In: *Agronomy Journal* 107 (6), S. 2449–2474. DOI: 10.2134/agronj15.0086.

Blanco-Canqui, Humberto; Wortmann, Charles S. (2020): Does occasional tillage undo the ecosystem services gained with no-till? A review. In: *Soil and Tillage Research* 198, S. 104534. DOI: 10.1016/j.still.2019.104534.

Bodenkarte.at (s.a.): eBOD2. Online verfügbar unter https://bodenkarte.at/#/center/15.66515,48.46627/zoom/18.8, zuletzt aktualisiert am 09.12.2020.000Z, zuletzt geprüft am 17.12.2020.640Z.

Burns, Kayla N.; Bokulich, Nicholas A.; Cantu, Dario; Greenhut, Rachel F.; Kluepfel, Daniel A.; O'Geen, A. Toby et al. (2016): Vineyard soil bacterial diversity and composition revealed by 16S rRNA genes: Differentiation by vineyard management. In: *Soil Biology and Biochemistry* 103, S. 337–348. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.09.007.

Burns, Kayla N.; Kluepfel, Daniel A.; Strauss, Sarah L.; Bokulich, Nicholas A.; Cantu, Dario; Steenwerth, Kerri L. (2015): Vineyard soil bacterial diversity and composition revealed by 16S rRNA genes: Differentiation by geographic features. In: *Soil Biology and Biochemistry* 91, S. 232–247. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.09.002.

Burns, Richard; Dick, Richard (Hg.) (2002): Enzymes in the Environment: CRC Press (Books in Soils, Plants, and the Environment).

Burns, Richard G. (1978): Soil enzymes. London <etc.>: Academic Press.

Calderón, Francisco J.; Jackson, Louise E.; Scow, Kate M.; Rolston, Dennis E. (2001): Short-Term Dynamics of Nitrogen, Microbial Activity, and Phospholipid Fatty Acids after Tillage. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65 (1), S. 118–126. DOI: 10.2136/sssaj2001.651118x.

Cantón, Y.; Solé-Benet, A.; Asensio, C.; Chamizo, S.; Puigdefábregas, J. (2009): Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. In: *CATENA* 77 (3), S. 192–199. DOI: 10.1016/j.catena.2008.12.011.

Caruso, Gabriella (2010): Leucine aminopeptidase, beta-glucosidase and alkaline phosphatase activity rates and their significance in nutrient cycles in some coastal Mediterranean sites. In: *Marine drugs* 8 (4), S. 916–940. DOI: 10.3390/md8040916.

Chou, Ming-Yi; Vanden Heuvel, Justine E. (2019): Annual Under-Vine Cover Crops Mitigate Vine Vigor in a Mature and Vigorous Cabernet franc Vineyard. In: *Am. J. Enol. Vitic.* 70 (1), S. 98–108. DOI: 10.5344/ajev.2018.18037.

Coniberti, Andres; Ferrari, Virginia; Disegna, Edgardo; García Petillo, Mario; Lakso, Alan N. (2018): Complete vineyard floor cover crop to reduce grapevine susceptibility to bunch rot. In: *European Journal of Agronomy* 99, S. 167–176. DOI: 10.1016/j.eja.2018.07.006.

Delpuech, Xavier; Metay, Aurélie (2018): Adapting cover crop soil coverage to soil depth to limit competition for water in a Mediterranean vineyard. In: *European Journal of Agronomy* 97, S. 60–69. DOI: 10.1016/j.eja.2018.04.013.

Deng, S. P.; Tabatabai, M. A. (1995): Cellulase activity of soils: Effect of trace elements. In: *Soil Biology and Biochemistry* 27 (7), S. 977–979. DOI: 10.1016/0038-0717(95)00005-Y.

Deng, Shiping; Kang, Hojeong; Freeman, Chris (2011): Microplate Fluorimetric Assay of Soil Enzymes. In: Richard P. Dick (Hg.): Methods of Soil Enzymology. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America (SSSA Book Series), S. 311–318.

Dick, Richard P.; Breakwell, Donald P.; Turco, Ronald F. (1996): Soil Enzyme Activities and Biodiversity Measurements as Integrative Microbiological Indicators. In: John Walsh Doran und Alice J. Jones (Hg.): Methods for assessing soil quality. Madison, Wis., USA: Soil Science Society of America (SSSA special publication, no. 49), S. 247–271.

Dick, W. A.; Cheng, L.; Wang, P. (2000): Soil acid and alkaline phosphatase activity as pH adjustment indicators. In: *Soil Biology and Biochemistry* 32 (13), S. 1915–1919. DOI: 10.1016/S0038-0717(00)00166-8.

Dreisiebner-Lanz, Sabrina (s.a.): Unterstockbegrünungen: Anforderungen, Versuchsergebnisse, Schlussfolgerungen und Ausblick. In: *Bio Ernte Steiermark / Fachgruppe Technik.*

Esen, Asim (Hg.) (1993): Beta-glucosidases. Biochemistry and molecular biology ; developed from a symposium … at the 204th national meeting of the American Chemical Society, Washington, DC, August 23 - 28, 1992. Washington, DC (ACS symposium series, 533). Online verfügbar unter http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0605/93025191-d.html.

Ferrero, A.; Usowicz, B.; Lipiec, J. (2005): Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. In: *Soil and Tillage Research* 84 (2), S. 127–138. DOI: 10.1016/j.still.2004.10.003.

Garcia, Léo; Celette, Florian; Gary, Christian; Ripoche, Aude; Valdés-Gómez, Hector; Metay, Aurélie (2018): Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 251, S. 158–170. DOI: 10.1016/j.agee.2017.09.030.

Garcia, Léo; Damour, Gaëlle; Kazakou, Elena; Fried, Guillaume; Bopp, Marie-Charlotte; Metay, Aurélie (2020a): Seasonal and interannual variations in functional traits of sown and spontaneous species in vineyard inter-rows. In: *Ecosphere* 11 (5), S. 29. DOI: 10.1002/ecs2.3140.

Garcia, Léo; Metay, Aurélie; Kazakou, Elena; Storkey, Jonathan; Gary, Christian; Damour, Gaëlle (2020b): Optimizing the choice of service crops in vineyards to achieve both runoff mitigation and water provisioning for grapevine: a trait-based approach. In: *Plant Soil* 452 (1-2), S. 87–104. DOI: 10.1007/s11104-020-04543-y.

García-Díaz, Andrés; Bienes, Ramón; Sastre, Blanca; Novara, Agata; Gristina, Luciano; Cerdà, Artemi (2017): Nitrogen losses in vineyards under different types of soil groundcover. A field runoff simulator approach in central Spain. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 236, S. 256–267. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.013.

Gaudin, Rémi; Celette, Florian; Gary, Christian (2010): Contribution of runoff to incomplete off season soil water refilling in a Mediterranean vineyard. In: *Agricultural Water Management* 97 (10), S. 1534–1540. DOI: 10.1016/j.agwat.2010.05.007.

Geyrhofer, Alois F. (2018): Unterstockbodenpflege – quo vadis? Maschinenwesen, HBLA und BA für Wein- und Obstbau Klosterneuburg. Online verfügbar unter https://www.der-winzer.at/fachartikel/weinbau/2018/03/unterstockbodenpflegequovadis.html, zuletzt aktualisiert am 16.12.2020.000Z, zuletzt geprüft am 16.12.2020.247Z.

Ghanizadeh, Hossein; Harrington, Kerry C.; James, Trevor K. (2015): Glyphosate-resistant Lolium multiflorum and Lolium perenne populations from New Zealand are also resistant to glufosinate and amitrole. In: *Crop Protection* 78, S. 1–4. DOI: 10.1016/j.cropro.2015.08.008.

Giese, Gill; Velasco-Cruz, Ciro; Roberts, Lucas; Heitman, Josh; Wolf, Tony K. (2014): Complete vineyard floor cover crops favorably limit grapevine vegetative growth. In: *Scientia Horticulturae* 170, S. 256–266. DOI: 10.1016/j.scienta.2014.03.011.

Guerra, B.; Steenwerth, K. (2012): Influence of Floor Management Technique on Grapevine Growth, Disease Pressure, and Juice and Wine Composition: A Review. In: *American Journal of Enology and Viticulture* 63 (2), S. 149–164. DOI: 10.5344/ajev.2011.10001.

Guzmán, G.; Cabezas, J. M.; Sánchez-Cuesta, R.; Lora, Á.; Bauer, T.; Strauss, P. et al. (2019): A field evaluation of the impact of temporary cover crops on soil properties and vegetation communities in southern Spain vineyards. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 272, S. 135–145. DOI: 10.1016/j.agee.2018.11.010.

Herrero-Hernández, Eliseo; Rodríguez-Cruz, M. Sonia; Pose-Juan, Eva; Sánchez-González, Sara; Andrades, M. Soledad; Sánchez-Martín, Maria J. (2017): Seasonal distribution of herbicide and insecticide residues in the water resources of the vineyard region of La Rioja (Spain). In: *The Science of the total environment* 609, S. 161–171. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.113.

Hickey, C. C.; Hatch, T. A.; Stallings, J.; Wolf, T. K. (2016): Under-Trellis Cover Crop and Rootstock Affect Growth, Yield Components, and Fruit Composition of Cabernet Sauvignon. In: *Am. J. Enol. Vitic.* 67 (3), S. 281–295. DOI: 10.5344/ajev.2016.15079.

Hofmann, Uwe (Hg.) (2014): Biologischer Weinbau. Stuttgart-Hohenheim: Eugen Ulmer Verlag (Weinbau Edition 2014). Online verfügbar unter http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783800121533.

Hostetler, G. L.; Merwin, I. A.; Brown, M. G.; Padilla-Zakour, O. (2007): Influence of Undervine Floor Management on Weed Competition, Vine Nutrition, and Yields of Pinot noir. In: *American Journal of Enology and Viticulture*.

Huggett, Jennifer M. (2006): Geology and wine: a review. In: *Proceedings of the Geologists' Association* 117 (2), S. 239–247. DOI: 10.1016/S0016-7878(06)80012-X.

Izaguirre-Mayoral, M.; Flores, S.; Carballo; o. (2002): Determination of acid phosphatase and dehydrogenase activities in the rhizosphere of nodulated legume species native to two contrasting savanna sites in Venezuela. In: *Biology and Fertility of Soils* 35 (6), S. 470–472. DOI: 10.1007/s00374-002-0477-1.

Kadisch, Erwin; Müller, Edgar (Hg.) (2019): Weinbau. 4., aktualisierte Auflage. Stuttgart: Ulmer (Der Winzer, Band 1).

Kamptal.at (s.a.): Weinbaugebiet Kamptal: Kontrastreiches Klima, vielfältige Böden. Online verfügbar unter https://www.kamptal.at/der-wein-im-kamptal/klima-und-boeden/, zuletzt aktualisiert am 15.04.2019+00:00, zuletzt geprüft am 17.12.2020.019Z.

Karaca, Ayten; Cetin, Sema Camci; Turgay, Oguz Can; Kizilkaya, Ridvan (2011): Soil Enzymes as Indication of Soil Quality. In: Girish Shukla und Ajit Varma (Hg.): Soil Enzymology, Bd. 22. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Soil Biology), S. 119–148.

Karl, A.; Merwin, I. A.; Brown, M. G.; Hervieux, R. A.; Vanden Heuvel, J. E. (2016): Impact of Undervine Management on Vine Growth, Yield, Fruit Composition, and Wine Sensory Analyses in Cabernet franc. In: *Am. J. Enol. Vitic.* 67 (3), S. 269–280. DOI: 10.5344/ajev.2016.15061.

Keller, Markus (2010): The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology (Second Edition): Academic Press.

Khalil, Sarha; Berardinis, Federica de (2018): Soil Enzyme activity protocol – Fluorometric measurements in microplates.

Killham, Ken; Staddon, William (2002): Bioindicators and Sensors of Soil Health and the Application of Geostatistics. In: Richard Burns und Richard Dick (Hg.): Enzymes in the Environment, Bd. 84: CRC Press (Books in Soils, Plants, and the Environment).

Lagomarsino, Alessandra; Agnelli, Alessandro Elio; Fulchin, Emma; Giffard, Brice (2018): SOIL ENZYME ACTIVITIES RECOVERY AFTER ORGANIC TREATMENTS OF DEGRADED AREAS WITHIN VINEYARDS. 17-25 Pages / EQA - International Journal of Environmental Quality, Vol 31 (2018): Soil health and strategies in vineyard (II) / EQA - International Journal of Environmental Quality, Vol 31 (2018): Soil health and strategies in vineyard (II). DOI: 10.6092/issn.2281-4485/7891.

Leonard, J.; Andrieux, P. (1998): Infiltration characteristics of soils in Mediterranean vineyards in Southern France. In: *CATENA* 32 (3-4), S. 209–223. DOI: 10.1016/S0341-8162(98)00049-6.

Lopes, C.; Monteiro, A.; Rückert, F. E.; Gruber, B.; Steinberg, B.; Schultz, H. R. (2015): Transpiration of grapevines and co-habitating cover crop and weed species in a vineyard. A “snapshot” at diurnal trends. 111 Pages / VITIS - Journal of Grapevine Research, Vol. 43 No. 3 (2004): Vitis / VITIS - Journal of Grapevine Research, Vol. 43 No. 3 (2004): Vitis. DOI: 10.5073/vitis.2004.43.111-117.

Lott, Heinz; Pfaff, Franz; Prior, Bernd (2010): Taschenbuch der Rebsorten. 14., neubearbeitete Aufl. Mainz: Fraund.

Lovisolo, Claudio; Perrone, Irene; Carra, Andrea; Ferrandino, Alessandra; Flexas, Jaume; Medrano, Hipolito; Schubert, Andrea (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. In: *Functional Plant Biol.* 37 (2), S. 98. DOI: 10.1071/FP09191.

Maier, Ilse (2005): Praxisbuch Bioweinbau. Erfolgreich, zukunftsorientiert, qualitätssichernd. Leopoldsdorf bei Wien: Österr. Agrarverl. (AVBuch).

Maltman, Alex (2013): Minerality in wine: a geological perspective. In: *Journal of Wine Research* 24 (3), S. 169–181. DOI: 10.1080/09571264.2013.793176.

Martinez, C. E.; Tabatabai, M. A. (1997): Decomposition of Biotechnology By-Products in Soils. In: *Journal of Environmental Quality* 26 (3), S. 625–632. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600030006x.

Martínez, F. San José; Báez, C. García-Gutiérrez; Monreal, F. J. Caniego; Peregrina, F. (2020): Long-range correlations of soil water content time series under tillage and different cover crops in a semiarid vineyard. In: *Eur J Soil Sci*. DOI: 10.1111/ejss.13036.

Matsui, Mikiko; Fowler, Jonathan H.; Walling, Linda L. (2006): Leucine aminopeptidases: diversity in structure and function. In: *Biological chemistry* 387 (12), S. 1535–1544. DOI: 10.1515/BC.2006.191.

Messiga, A. J.; Gallant, K. S.; Sharifi, M.; Hammermeister, A.; Fuller, K.; Tango, M.; Fillmore, S. (2016): Grape Yield and Quality Response to Cover Crops and Amendments in a Vineyard in Nova Scotia, Canada. In: *Am. J. Enol. Vitic.* 67 (1), S. 77–85. DOI: 10.5344/ajev.2015.15013.

Monteiro, Ana; Lopes, Carlos M. (2007): Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 121 (4), S. 336–342. DOI: 10.1016/j.agee.2006.11.016.

Moutinho-Pereira, J. M.; Correia, C. M.; Goncalves, B. M.; Bacelar, E. A.; Torres-Pereira, J. M. (2004): Leaf Gas Exchange and Water Relations of Grapevines Grown in Three Different Conditions. In: *Photosynt.* 42 (1), S. 81–86. DOI: 10.1023/B:PHOT.0000040573.09614.1d.

Neubauer, Dieter (2019): Wöhlers Entdeckung - Eine andere Einführung in die Biochemie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; Springer Spektrum.

Novara, Agata; Catania, Valentina; Tolone, Marco; Gristina, Luciano; Laudicina, Vito Armando; Quatrini, Paola (2020): Cover Crop Impact on Soil Organic Carbon, Nitrogen Dynamics and Microbial Diversity in a Mediterranean Semiarid Vineyard. In: *Sustainability* 12 (8), S. 3256. DOI: 10.3390/su12083256.

Novara, Agata; Cerda, Artemi; Barone, Ettore; Gristina, Luciano (2021): Cover crop management and water conservation in vineyard and olive orchards. In: *Soil and Tillage Research* 208, S. 104896. DOI: 10.1016/j.still.2020.104896.

Pandey, Divya; Agrawal, Madhoolika; Bohra, Jitendra Singh (2014): Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. In: *Soil and Tillage Research* 136, S. 51–60. DOI: 10.1016/j.still.2013.09.013.

Pellegrino, Anne; Lebon, Eric; Simonneau, Thierry; Wery, Jacques (2005): Towards a simple indicator of water stress in grapevine (Vitis vinifera L.) based on the differential sensitivities of vegetative growth components. In: *Aust J Grape Wine Res* 11 (3), S. 306–315. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2005.tb00030.x.

Pou, Alícia; Gulías, Javier; Moreno, Maria; Tomàs, Magdalena; Medrano, Hipolito; Cifre, Josep (2016): Cover cropping in Vitis vinifera L. cv. Manto Negro vineyards under Mediterranean conditions: effects on plant vigour, yield and grape quality. In: *OENO One* 45 (4), S. 223. DOI: 10.20870/oeno-one.2011.45.4.1501.

Ramos, María Concepción; Romero, María Paz (2017): Potassium uptake and redistribution in Cabernet Sauvignon and Syrah grape tissues and its relationship with grape quality parameters. In: *Journal of the science of food and agriculture* 97 (10), S. 3268–3277. DOI: 10.1002/jsfa.8175.

Redl, Helmut; Ruckenbauer, Walter; Traxler, Hans (1996): Weinbau heute. Handbuch für Beratung, Schulung und Praxis. 3., völlig neu bearbeitete Aufl. Graz, Stuttgart: Leopold Stocker Verlag.

Reeve, Alison L.; Skinkis, Patricia A.; Vance, Amanda J.; Lee, Jungmin; Tarara, Julie M. (2016): Vineyard Floor Management Influences ‘Pinot noir’ Vine Growth and Productivity

More than Cluster Thinning. In: *horts* 51 (10), S. 1233–1244. DOI: 10.21273/HORTSCI10998-16.

Rodriguez-Lovelle, B.; Soyer, J.; Molot, C. (2000): NITROGEN AVAILABILITY IN VINEYARD SOILS ACCORDING TO SOIL MANAGEMENT PRACTICES. EFFECTS ON VINE. In: *Acta Hortic.* (526), S. 277–286. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.526.29.

Salomé, Clémence; Coll, Patrice; Lardo, Egidio; Metay, Aurélie; Villenave, Cécile; Marsden, Claire et al. (2016): The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. In: *Ecological Indicators* 61, S. 456–465. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.09.047.

Schreck, Eva; Gontier, Laure; Dumat, Camille; Geret, Florence (2012): Ecological and physiological effects of soil management practices on earthworm communities in French vineyards. In: *European Journal of Soil Biology* 52, S. 8–15. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2012.05.002.

Singh, Alka; Ghoshal, Nandita (2013): Impact of herbicide and various soil amendments on soil enzymes activities in a tropical rainfed agroecosystem. In: *European Journal of Soil Biology* 54, S. 56–62. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2012.10.003.

Six, J.; Elliott, E. T.; Paustian, K. (1999): Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63 (5), S. 1350–1358. DOI: 10.2136/sssaj1999.6351350x.

Sommaggio, Daniele; Peretti, Emiliano; Burgio, Giovanni (2018): The effect of cover plants management on soil invertebrate fauna in vineyard in Northern Italy. In: *BioControl* 63 (6), S. 795–806. DOI: 10.1007/s10526-018-09907-z.

Steenwerth, K. L.; Calderon-Orellana, A.; Hanifin, R. C.; Storm, C.; McElrone, A. J. (2016): Effects of Various Vineyard Floor Management Techniques on Weed Community Shifts and Grapevine Water Relations. In: *American Journal of Enology and Viticulture* 67 (2), S. 153–162. DOI: 10.5344/ajev.2015.15050.

Steenwerth, K. L.; McElrone, A. J.; Calderon-Orellana, A.; Hanifin, R. C.; Storm, C.; Collatz, W.; Manuck, C. (2013): Cover Crops and Tillage in a Mature Merlot Vineyard Show Few Effects on Grapevines. In: *Am. J. Enol. Vitic.* 64 (4), S. 515–521. DOI: 10.5344/ajev.2013.12119.

Steenwerth, Kerri; Belina, K. M. (2008): Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. In: *Applied Soil Ecology* 40 (2), S. 359–369. DOI: 10.1016/j.apsoil.2008.06.006.

Steenwerth, Kerri L.; Belina, K. M. (2010): Vineyard weed management practices influence nitrate leaching and nitrous oxide emissions. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138 (1-2), S. 127–131. DOI: 10.1016/j.agee.2010.03.016.

Stellin, Fabio; Gavinelli, Federico; Stevanato, Piergiorgio; Concheri, Giuseppe; Squartini, Andrea; Paoletti, Maurizio Guido (2018): Effects of different concentrations of glyphosate (Roundup 360®) on earthworms (Octodrilus complanatus, Lumbricus terrestris and Aporrectodea caliginosa) in vineyards in the North-East of Italy. In: *Applied Soil Ecology* 123 (3), S. 802–808. DOI: 10.1016/j.apsoil.2017.07.028.

Taylor, James A.; Bates, Terence R. (2012): Sampling and Estimating Average Pruning Weights in Concord Grapes. In: *Am. J. Enol. Vitic.* 63 (4), S. 559–563. DOI: 10.5344/ajev.2012.12069.

Tesic, D.; Keller, M.; Hutton, R. J. (2007): Influence of Vineyard Floor Management Practices on Grapevine Vegetative Growth, Yield, and Fruit Composition. In: *American Journal of Enology and Viticulture* 2007.

Tesic, D.; WOOLLEY, D. J.; HEWETT, E. W.; MARTIN, D. J. (2002): Environmental effects on cv Cabernet Sauvignon (Vitis vinifera L.) grown in Hawke's Bay, New Zealand.: 2. Development of a site index. In: *Aust J Grape Wine Res* 8 (1), S. 27–35. DOI: 10.1111/j.1755-0238.2002.tb00208.x.

Tisserant, B.; Gianinazzi-Pearson, V.; Gianinazzi, S.; Gollotte, A. (1993): In planta histochemical staining of fungal alkaline phosphatase activity for analysis of efficient arbuscular mycorrhizal infections. In: *Mycological Research* 97 (2), S. 245–250. DOI: 10.1016/S0953-7562(09)80248-7.

Tomaz, A.; Pacheco, C. A.; Coleto Martinez, J. M. (2017): Influence of cover cropping on water uptake dynamics in an irrigated Mediterranean vineyard. In: *Irrig. and Drain.* 66 (3), S. 387–395. DOI: 10.1002/ird.2115.

Trouvelot, Sophie; Bonneau, Laurent; Redecker, Dirk; van Tuinen, Diederik; Adrian, Marielle; Wipf, Daniel (2015): Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. In: *Agron. Sustain. Dev.* 35 (4), S. 1449–1467. DOI: 10.1007/s13593-015-0329-7.

Valdés-Gómez, Héctor; Gary, Christian; Cartolaro, Philippe; Lolas-Caneo, Mauricio; Calonnec, Agnès (2011): Powdery mildew development is positively influenced by grapevine vegetative growth induced by different soil management strategies. In: *Crop Protection* 30 (9), S. 1168–1177. DOI: 10.1016/j.cropro.2011.05.014.

van Leeuwen, Cornélis; Roby, Jean-Philippe; Rességuier, Laure de (2018): Soil-related terroir factors: a review. In: *OENO One* 52 (2), S. 173–188. DOI: 10.20870/oeno-one.2018.52.2.2208.

van Leeuwen, Cornelius; Trégoat, Olivier; Choné, Xavier; Bois, Benjamin; Pernet, David; Gaudillère, Jean-Pierre (2016): Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? In: *OENO One* 43 (3), S. 121. DOI: 10.20870/oeno-one.2009.43.3.798.

Walg, Oswald (s.a.): Mechanische Unterstockbodenpflege. Fachgruppe Weinbau, DLR Rheinhessen-Nahe- Hunsrück, Bad Kreuznach. Online verfügbar unter https://www.der-winzer.at/fachartikel/weinbau/2016/03/mechanische_unterstockbodenpflege.html, zuletzt aktualisiert am 15.12.2020.000Z, zuletzt geprüft am 15.12.2020.806Z.

Wasko, Lisa Marie (2010): Alternative weed management practices: Effects on weed control, grapevine performance, and soil quality in an established midwestern vineyard.

Wheeler, S. J.; Black, A. S.; Pickering, G. J. (2005): Vineyard floor management improves wine quality in highly vigorous Vitis vinifera 'Cabernet Sauvignon' in New Zealand. In: *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 33 (3), S. 317–328. DOI: 10.1080/01140671.2005.9514365.

White, Robert Edwin (2003): Soils for fine wines. New York: Oxford University Press. Online verfügbar unter http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=121495.

Winter, Silvia; Bauer, Thomas; Strauss, Peter; Kratschmer, Sophie; Paredes, Daniel; Popescu, Daniela et al. (2018): Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis. In: *The Journal of applied ecology* 55 (5), S. 2484–2495. DOI: 10.1111/1365-2664.13124.

Wright, A. L.; Reddy, K. R. (2001): Phosphorus Loading Effects on Extracellular Enzyme Activity in Everglades Wetland Soils. In: *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65 (2), S. 588–595. DOI: 10.2136/sssaj2001.652588x.

Yadav, R.; Tarafdar, J. (2001): Influence of organic and inorganic phosphorus supply on the maximum secretion of acid phosphatase by plants. In: *Biology and Fertility of Soils* 34 (3), S. 140–143. DOI: 10.1007/s003740100376.

Zabaloy, María C.; Garland, Jay L.; Gómez, Marisa A. (2008): An integrated approach to evaluate the impacts of the herbicides glyphosate, 2,4-D and metsulfuron-methyl on soil microbial communities in the Pampas region, Argentina. In: *Applied Soil Ecology* 40 (1), S. 1–12. DOI: 10.1016/j.apsoil.2008.02.004.

Zaller, Johann G.; Cantelmo, Clemens; Santos, Gabriel Dos; Muther, Sandrina; Gruber, Edith; Pallua, Paul et al. (2018): Herbicides in vineyards reduce grapevine root mycorrhization and alter soil microorganisms and the nutrient composition in grapevine roots, leaves, xylem sap and grape juice. In: *Environmental science and pollution research international* 25 (23), S. 23215–23226. DOI: 10.1007/s11356-018-2422-3.