

RASEN TURF \ GAZON

European Journal of Turfgrass Science



Deutsche
Rasengesellschaft e.V.

Jahrgang 55 · Heft 01/24

Rhizobiom-Management auf Golf-Greens

Rieger L.

Zusammenfassung

Angesichts der zunehmenden Restriktionen im Bereich des chemischen Pflanzenschutzes und den damit verbundenen steigenden Kosten, wird die Suche nach umweltfreundlichen Alternativen immer wichtiger. Diese Studie konzentrierte sich auf die Untersuchung von belüfteter Komposttee (ACT) als potenzielle, umweltfreundliche Lösung zur Prävention von Pflanzenkrankheiten auf Golf-Greens. Über sechs Monate wurde in einem Feldversuch die krankheitsunterdrückende Wirkung von ACT analysiert und mit konventionellen Pflanzenschutzmitteln (PSM) verglichen. Die Ergebnisse zeigten, dass ACT eine ähnlich effektive Wirkung wie konventionelle PSM hatte, zusätzlich das Wachstum und die Verbreitung von *Agrostis stolonifera* förderte und problemlos in bestehende Pflegemaßnahmen integriert werden konnte.

Summary

With increasing restrictions on chemical plant diseases and the associated rising costs, the search for environmentally friendly alternatives is becoming increasingly important. This study focused on the investigation of aerated compost tea (ACT) as a potential, environmentally friendly solution for the prevention of plant diseases on golf greens. Over six months, the disease suppressive effect of ACT was analyzed in a field trial and compared to conventional plant protection products. The results showed, that ACT had a similarly effect as conventional plant protection products, additionally promoted the growth and spread of *Agrostis stolonifera* and could be easily integrated into existing maintenance measures.

Einleitung

Der Klimawandel hat weitreichende Folgen auf die Mikrobiologie unseres

Planetens – ein erhöhter Krankheitsdruck auf Pflanzen und ein steigender Einsatz von PSM sind die Folge. Der Einsatz von Fungiziden auf Golfplätzen führt zu einer Zunahme von resistenten Krankheitserregern. Die Umweltauswirkungen sind erheblich, mit PSM-Rückständen in über der Hälfte aller Grundwasser-Messstellen in der Schweiz und einem massiven Überschuss an ausgebrachten Nährstoffen, was das Grundwasser nachhaltig belastet und die biologische Vielfalt verringert. Konventionelle Bewirtschaftungsmethoden reduzieren die mikrobielle Bodendiversität und beeinträchtigen Ökosystemfunktionen. Regierungen und einschlägige Organisationen wie The Royal and Ancient Golf Club of St Andrews und Swiss Golf erkennen die Notwendigkeit einer nachhaltigen Bewirtschaftung an, die auch von Golfspielern unterstützt wird. Die Forschung zeigt, dass die Integration von pflanzennützlichen Mikroorganismen für die Bewirtschaftung positive Effekte haben kann. Belüfteter Komposttee (ACT) wird als vielversprechende Technologie gesehen, um das Rhizosphären-Management zu unterstützen, indem er eine vielfältige mikrobielle Gemeinschaft liefert.

Bedeutung des Rhizobiums auf Golf-Greens

Bodenmikroorganismen spielen eine Schlüsselrolle in der Funktionalität eines Ökosystems (MCCANN, 2000). Sie schützen die Pflanze vor Krankheiten und verbessern deren Nährstoffaufnahme durch komplexe Interaktionen. Besonders das Rhizobiom, der von Mikroorganismen dicht besiedelte Bereich um die Pflanzenwurzeln, ist für das Wachstum und die Gesundheit der Pflanzen von zentraler Bedeutung. Die Metagenomik ermöglicht Einblicke in die Veränderungen innerhalb der mikrobiellen Gemeinschaften und zeigt, dass die bodenmikrobielle Diversität einen erheblichen Einfluss auf die Produktivität pflanzlicher Ökosysteme hat.

Junge Sämlinge investieren typischerweise etwa 30 – 40 % ihres Kohlenstoffaufkommens in die Suche nach nützlichen Mikroorganismen (WHIPPS, 1990), wobei Wurzelexsudate eine zentrale

Rolle bei der Bestimmung der Rhizobiomzusammensetzung spielen. Im Gegensatz zum Bodenmikrobiom, bei dem davon ausgegangen wird, dass die Auswirkungen kurz nach bodenbeeinflussenden Tätigkeiten über die Dauer der Vegetationszeit allmählich abnehmen, kann das Wurzelmikrobiom länger erhalten bleiben (HARTMAN et al., 2018), was somit die Möglichkeit bietet, durch die Impfung mit nützlichen Mikroorganismen langfristig Einfluss zu nehmen.

Golf-Greens weisen trotz intensiver Pflege und geringem organischen Gehalt eine hohe mikrobielle Diversität auf. Studien zeigen, dass das Rhizobiom von Rasengräsern wie *Agrostis stolonifera* trotz unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen konstant bleibt und nur geringfügig von geographischen Faktoren beeinflusst wird, eher von mikroklimatischen Bedingungen (ALLAN-PERKINS et al., 2019; CROUCH et al., 2017; DOHERTY, 2018). Hauptkomponenten des Rhizobiums auf Golf-Greens sind Bakterien der Gruppen *Proteobacteria*, *Firmicutes* und *Actinobacteria* sowie Pilze der Klassen *Dothideomycetes*, *Eurotiomycetes*, *Sordariomycetes* und *Tremellomycetes*.

Interaktionen innerhalb der Rhizosphäre sind komplex und beinhalten sowohl positive als auch negative Wechselwirkungen. Mykorrhizapilze, insbesondere AMF, spielen eine wesentliche Rolle bei der Förderung der Pflanzengesundheit und Nährstoffaufnahme. Die Anwendung von Kompost kann die mikrobielle Aktivität und das Wachstum von AMF stimulieren, was wiederum positive Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung und Resistenz der Rasengräser haben kann.

Das Verständnis des Rhizobiums auf Golf-Greens und die gezielte Manipulation durch die Einführung nützlicher Mikroorganismen wie AMF und *Actinomycetales* birgt Potenzial, die Pflanzengesundheit zu verbessern und einen nachhaltigeren Ansatz für das Management von Golf-Greens zu fördern.

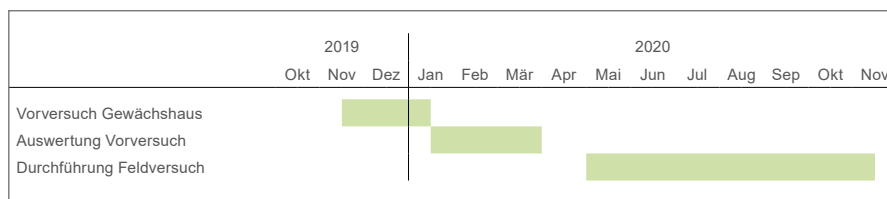
Komposttee

Die Integration von Eigenschaften pflanzenförderlicher Mikrobiome in die

nachhaltige Pflanzenkultivierung wird zunehmend als ein Forschungsfeld von großer Bedeutung und agronomischem Nutzen erkannt (BUSBY et al., 2017; LUNDBERG et al., 2012; MITTER et al., 2017). In diesem Zusammenhang stellt die Anwendung von belüftetem Komposttee (ACT) – einer wässrigen Lösung, die sowohl lebende Mikroorganismen samt deren Stoffwechselprodukte als auch Nährstoffe aus Kompost enthält – ein vielversprechendes Inokulum für das Management der Rhizosphäre dar. Die Bereicherung des Bodens mit einer diversen mikrobiellen Gemeinschaft durch ACT kann ein effektives Werkzeug sein, um die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Mikroben in landwirtschaftlichen Ökosystemen positiv zu gestalten (EMMETT et al., 2017). Im Vergleich zur Verwendung von festem Kompost verringert ACT den Bedarf an Ausgangsmaterial erheblich und ermöglicht durch die zielgerichtete Beimpfung der Rhizosphäre eine verbesserte Effektivität.

Studien belegen die positive Wirkung von ACT auf das Pflanzenwachstum (BERNAL-VICENTE et al., 2008; FOU-DA and ALI, 2016; SIDDIQUI et al., 2008) und die Krankheitsresistenz (MORALES-CORTS et al., 2018; RIEGER, 2021; SAMET et al., 2018; ST. MARTIN et al., 2012; JOSHI et al., 2009). Regelmäßige Anwendungen verbessern auf sandigen Böden die Kationenaustauschkapazität, Wasserspeicherung und Nährstofffreisetzung (MCCARTY, 2018). ACT-Anwendungen können spezifische Pflanzenkrankheiten unterdrücken (HSIANG and TIANG, 2007), zeigen jedoch unterschiedliche Effekte je nach Anwendungsbedingungen und -methoden. Die Effektivität von ACT ist von Faktoren wie Kompostqualität, Wasser, Zusatzstoffen und Herstellungsprozess abhängig. Trotz positiver Ergebnisse in einigen Studien bleibt die Forschung zu ACT auf Golf-Greens begrenzt, mit variierenden Ergebnissen bezüglich der Krankheitsunterdrückung.

Es ist bekannt, dass „Keystone Taxa“, die die mikrobielle Gemeinschaftsstruktur signifikant beeinflussen und überproportional bedeutsam sind (AGLER et al., 2016), im Wurzelmikrobiom durch organische Anbaumethoden modifiziert werden können (HARTMAN et al., 2018). Darüber hinaus können sie sich schnell an eine neue Umgebung anpassen. Folglich können sie eine große Rolle bei der Strukturierung natürlicher mikrobieller Gemeinschaften spielen (GÓMEZ et al., 2016).



Tab. 1: Zeitplan für den Forschungsversuch.

Anteil	Name	wissenschaftlicher Name
25 %	Weisses Straussgras	<i>Agrostis stolonifera</i> cv. Penn-A4
25 %	Weisses Straussgras	<i>Agrostis stolonifera</i> cv. 007
25 %	Weisses Straussgras	<i>Agrostis stolonifera</i> cv. V8
25 %	Weisses Straussgras	<i>Agrostis stolonifera</i> cv. Crystal Blue

Tab. 2: Zusammensetzung der auf dem Golfplatz und für den Vorversuch verwendeten Rasensortenmischung „Green Spezial Golf Club Bad Ragaz“. Hersteller: UFA-Samen (fenaco Genossenschaft).

P0			P1			P2		
Ks-P0A+	K0-P0A-	K2-P0A+	K0-P1A+	K0-P1A-	K0-P1PSM	K0-P2PSM	K1-P2A+	K2-P2A-
K0-P0PSM	K2-P0A-	Ks-P0A-	Ks-P1A-	K2-P1A-	Ks-P1A+	K0-P2A-	K2-P2A+	K0-P2A+
K1-P0A+	K0-P0A+	K1-P0A-	K1-P1A-	K2-P1A+	K1-P1A+	Ks-P2A+	Ks-P2A-	K1-P2A-
K0-P0A-	Ks-P0A-	K2-P0A+	K1-P1A-	Ks-P1A+	K0-P1A+	K2-P2A+	Ks-P2A-	K1-P2A+
K2-P0A-	K0-P0PSM	K1-P0A+	K2-P1A+	K0-P1A-	K0-P1PSM	K0-P2A+	K1-P2A-	K0-P2A-
K0-P0A+	Ks-P0A+	K1-P0A-	K2-P1A-	Ks-P1A-	K1-P1A+	K2-P2A-	K0-P2PSM	Ks-P2A+
K0-P0PSM	K0-P0A+	K0-P0A-	K2-P1A+	K0-P1A+	K1-P1A-	K0-P2A+	K0-P2A-	Ks-P2A-
Ks-P0A-	K1-P0A+	Ks-P0A+	Ks-P1A+	K0-P1PSM	Ks-P1A-	K2-P2A-	K1-P2A-	K2-P2A+
K1-P0A-	K2-P0A+	K2-P0A-	K2-P1A-	K0-P1A-	K1-P1A+	Ks-P2A+	K1-P2A+	K0-P2PSM
K0-P0PSM	Ks-P0A+	K0-P0A+	K1-P1A-	K0-P1PSM	Ks-P1A+	K0-P2A-	K2-P2A-	K1-P2A+
Ks-P0A-	K1-P0A+	K1-P0A-	Ks-P1A-	K0-P1A+	K2-P1A-	Ks-P2A-	K1-P2A-	K0-P2A+
K2-P0A-	K0-P0A+	K0-P0PSM	K2-P1A+	K1-P1A+	K0-P1A-	K0-P2PSM	Ks-P2A+	K2-P2A+
Ks-P0A+	K2-P0A+	K0-P0A-	K1-P1A-	K0-P1PSM	Ks-P1A+	K0-P2A-	K2-P2A-	K1-P2A+
Ks-P0A-	K1-P0A+	K1-P0A-	K0-P1PSM	K1-P1A-	K0-P1A-	K2-P2A-	K0-P2A-	K2-P2A+
K2-P0A-	K0-P0A+	K0-P0PSM	K0-P1A+	K2-P1A-	K2-P1A+	Ks-P2A-	K0-P2PSM	K1-P2A-
Ks-P0A+	K2-P0A+	K0-P0A-	Ks-P1A-	Ks-P1A+	K1-P1A+	Ks-P2A+	K1-P2A+	K0-P2A+

Ks	ACT steril	K1	ACT1	PSM	Pflanzenschutzmittel	A-	ohne AMF
K0	Kein ACT	K2	ACT2			A+	mit AMF

Abb. 1: Versuchsdesign des Vorversuchs im Gewächshaus der ZHAW Wädenswil, Schweiz. P0 = kein Pathogen; P1 = Pathogen *Colletotrichum cereale*; P2 = Pathogen *Clariireedia spp.*



Abb. 2: Versuchsaufbau des Vorversuchs im Gewächshaus der ZHAW in Wädenswil.

Diese Studie untersucht, ob der Einsatz von PSM und die benötigte Düngermenge durch die Anwendung von ACT und arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMF) reduziert werden kann. Die Effektivität von ACT wird in Gewächshausversuchen und anschließenden Feldversuchen auf einem Schweizer Golfplatz evaluiert, um dessen Einfluss auf die Krankheitsunterdrückung und die Nährstoffeffizienz zu messen.

Material und Methoden

Die Forschung bestand aus einem Gewächshausvorversuch und einem anschließenden Feldversuch (Tabelle 1). Ziel des Vorversuchs war die Untersuchung der synergistischen Effekte von belüftetem Komposttee (ACT), pflanzenwachstumsfördernden Rhizobakterien (PGPR) und arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMF) auf Wachstum und Gesundheit von *Agrostis stolonifera* sowie die Wurzelkolonisierung durch Mykorrhizapilze. Die erfolgsversprechendste Variante aus dem Gewächshausversuch wurde im Feldversuch auf die Pflanzenvitalität sowie Krankheitsunterdrückung während einer Saison (Mai bis Oktober) untersucht.

Vorversuch Gewächshaus

Für den Versuchsaufbau wurde eine Rasenmischung aus vier *Agrostis stolonifera*-Sorten verwendet (Tabelle 2).

Getestet wurden zwei ACT-Rezepturen: eine bekannte gegen Pilzkrankheiten (K1) und eine mit Actinomycetales-Inokulation (K2), jeweils mit und ohne AMF-Zugabe. Der Versuch wurde im randomisierten Blockdesign durchgeführt, um Kreuzkontaminationen zu minimieren (Abbildung 1).

Die ACT-Varianten wurden in sterilisierten (Ks) und nicht-sterilisierten Formen angewendet. Zusätzlich gab es Kontrollvarianten ohne ACT, einschließlich einer Behandlung nur mit Wasser, PSM und AMF. Insgesamt wurden 135 Versuchsschalen verwendet. (Abbildung 2).

Der Versuch wurde in zwei Phasen eingeteilt (Tabelle 3). In Phase 1 erfolgte die Aussaat und das Wachstum der Rasengräser über 25 Tage, wobei die Keimrate und das Blattfrischgewicht dokumentiert wurden. In Phase 2, nach dem ersten Schnitt, wurde die krankheitsunterdrückende Wirkung der Behandlungen mit der Inokulation der Pathogene *Colletotrichum cereale* und *Clariireedia* spp. untersucht. Die optische Beurteilung und die

Versuchswoche	1	2	3	4	5	6	7	8
	Phase 1				Phase 2			
Aussaat, Inokulation AMF								
Bonitur Keimung								
Schnitt Rasen								
Applikation								
Inokulation Pathogene								
Blattbiomasse								
optische Beurteilung								
Bonitur Mykorrhizierung								

Tab. 3: Zeitplan für den Vorversuch.

Note	Bedeutung	Beschreibung
1	sehr gut	Deckungsgrad (Rasen) 100 – 90 %, Blattfarbe grün
2	gut	Deckungsgrad 90 – 70 %, Blattfarbe grün – hellgrün
3	mittel	Deckungsgrad 70 – 50 %, Blattfarbe grün – hellgrün
4	schlecht	Deckungsgrad < 50 %, Blattfarbe hellgrün – gelb

Tab. 4: Einteilung der Boniturskala für den Gewächshausversuch nach GLÖCKLHOFER (2017).

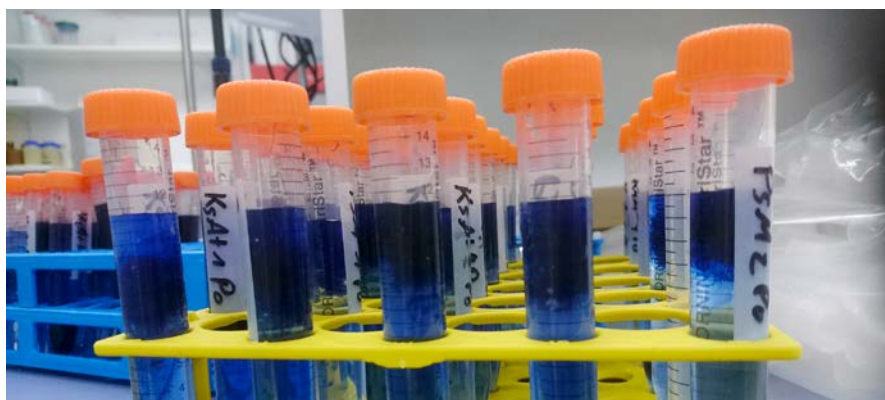


Abb. 3: Mit Tinten-Essig-Lösung gefärbte Wurzelproben. Die Wurzeln wurden mit 10 ml Tinten-Essig-Lösung bedeckt und geschüttelt. Nach fünf Minuten im Wasserbad (80 °C) und einer Ruhephase von fünf Minuten wurde die Lösung ausgeleert, die Wurzeln gespült und bis zur mikroskopischen Untersuchung in Glycerin 50 % eingelegt.

Bestimmung der Wurzelfrischmasse fanden am Ende des Versuchs statt.

Der Boden für den Versuch stammte von einem der Feldversuchs-Greens. Das Substrat wurde homogenisiert und in Versuchsschalen gefüllt. Den AMF-Varianten wurden Trägersubstrate mit Sporen hinzugefügt.

Die Behandlungen wurden zu festgelegten Zeitpunkten mit Handsprühflaschen auf die Blattoberfläche ausgebracht. Die ACT-Varianten wurden frisch hergestellt und teilweise mit *Actinomycetales* angereichert. Kontrollen wurden mit Leitungswasser oder Fungiziden behandelt.

Nach der Aussaat der Pathogene erfolgte die optische Beurteilung der Rasengräser anhand einer Boniturskala (Tabelle 4) zur Bewertung der Hemmwirkung gegenüber den Pilzen.

Die Wurzelkolonisierung durch Mykorrhizapilze wurde acht Wochen nach der Inokulation bewertet, wobei der Prozentsatz der Wurzelbesiedelung bestimmt wurde. Wurzeln wurden präpariert, mit 10 ml Tinten-Essig Lösung gefärbt (Abbildung 3), mit deionisiertem Wasser gespült und unter dem Mikroskop auf das Vorhandensein von Mykorrhizastrukturen untersucht. Die Kolonisierungsrate wurde durch Auszählung unter dem Mikroskop berechnet.

Durch die Wurzelfärbung kann das Vorhandensein von Mykorrhizastrukturen wie Arbuskeln, Vesikeln und Hyphen unter dem Mikroskop nachgewiesen werden (VIERHEILIG et al., 1998). Zur Entfärbung der Wurzeln wurden sie mit Glycerin 50 % bedeckt und für vier Tage bei Raumtemperatur stehen gelassen. Die Färbung der Mykorrhizastrukturen blieb erhalten.

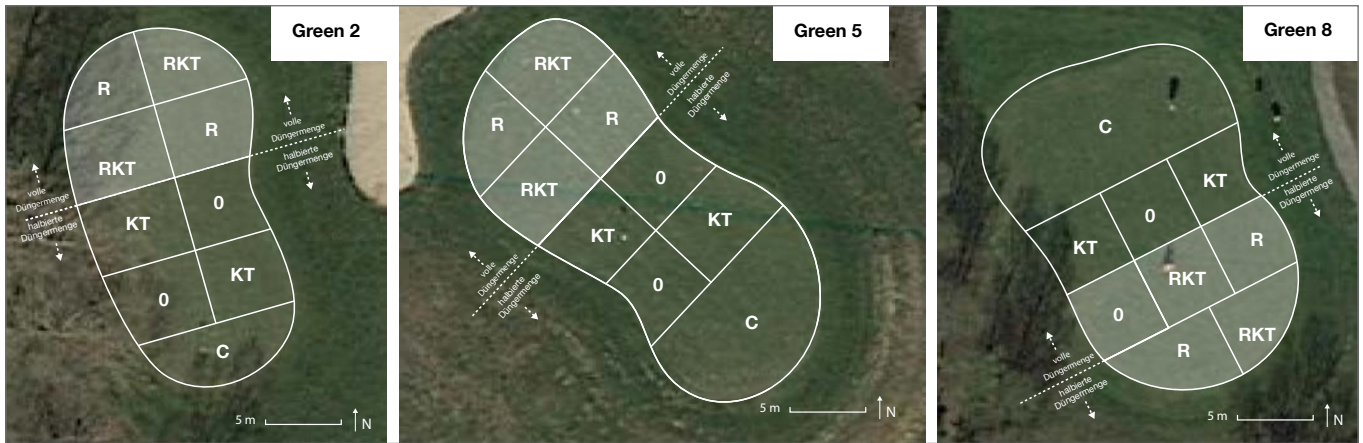


Abb. 4: Versuchsaufbau der drei untersuchten Greens auf dem Golfplatz Golfclub Heidiland. R = Halbierte Düngermenge ohne Einsatz von ACT; RKT = Halbierte Düngermenge mit Einsatz von ACT; 0 = Negativkontrolle (kein Einsatz von Dünger und kein Einsatz von ACT); KT = Einsatz von ACT bei voller Düngermenge; C = Positivkontrolle (Einsatz von Dünger und konventionellem Pflanzenschutzmittel).

Feldversuch

Der Feldversuch fokussierte sich auf die Pflanzenvitalität und Krankheitsunterdrückung der Variante ACT ohne AMF (K1A-) von Mai bis Oktober. Die Durchführung erfolgte auf drei verschiedenen Greens des Golf Clubs Heidiland in Bad Ragaz, gelegen in einer gemäßigten Klimazone auf 511 m ü. M. mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,2 °C und einer durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge von 1.129 mm. Die Greens wurden 2004 nach USGA-Norm erstellt und mit einer *Agrostis stolonifera*-Mischung angesät. Während des Versuchs wurden die Greens nach dem Pflegeplan des Golfplatzes bewirtschaftet (Tabelle 5). Laut dem Head-Greenkeeper war Anthraknose die Hauptkrankheit der letzten Jahre.

Das Versuchsdesign umfasste neun Flächen pro Green, mit zwei Flächen pro Variante und einer Positivkontrolle (Abbildung 4). Die Versuchsdauer erstreckte sich über 22 Wochen, wobei die Bonitur zu Beginn, in der Mitte und am Ende der Versuchsdauer stattfand. Die ACT-Anwendung begann am 5. Juni 2020 und wurde alle zwei Wochen wiederholt. Die Versuchsflächen wurden mit gelber Markierungsfarbe gekennzeichnet, um den Spielbetrieb nicht zu stören. Der Düngereinsatz richtete sich nach dem Düngeplan der Greenkeeper, wobei die Flächen R und RKT mit halber Düngermenge behandelt wurden. Die ACT-Applikation erfolgte alle zwei Wochen, frühmorgens oder an bewölkten Tagen, um direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden.

Die optische Beurteilung umfasste drei Termine, wobei für jede Versuchsfläche drei Boniturtransekte bestimmt wur-

Massnahme	Behandlung	Frequenz
Bewässerung	Bewässerungssystem, bei Hitze per Hand nachgegossen	fast täglich
Mähen	Schnitthöhe: 4 mm (Winter: 5 mm)	täglich
Walzen	Unregelmässig nach Mähen	
Vertikutieren	Tiefe: 1 mm in Bodenschicht	1x monatlich
Topdressing	Leicht, mit feinem getrocknetem Sand	2x monatlich
Aerifizieren	Moredo aerifer (2.5 cm Tiefe)	1x monatlich
	Toro procore solid tines (20 cm Tiefe)	4x jährlich
	Toro procore hollow tines	1x jährlich (Mitte September)
	VertiDrain solid tines (30.5 cm Tiefe)	2x jährlich (Spätherbst & Frühling)
Nachsaat	UFA-Samen «Green Spezial Golf Club Bad Ragaz»	1x jährlich (Mitte September)
Schlitzten	30.5 cm Tiefe	1x jährlich (Spätherbst)
Bürsten		2x monatlich

Tab. 5: Durchgeführte Pflegemaßnahmen auf den Greens während des Versuchs.

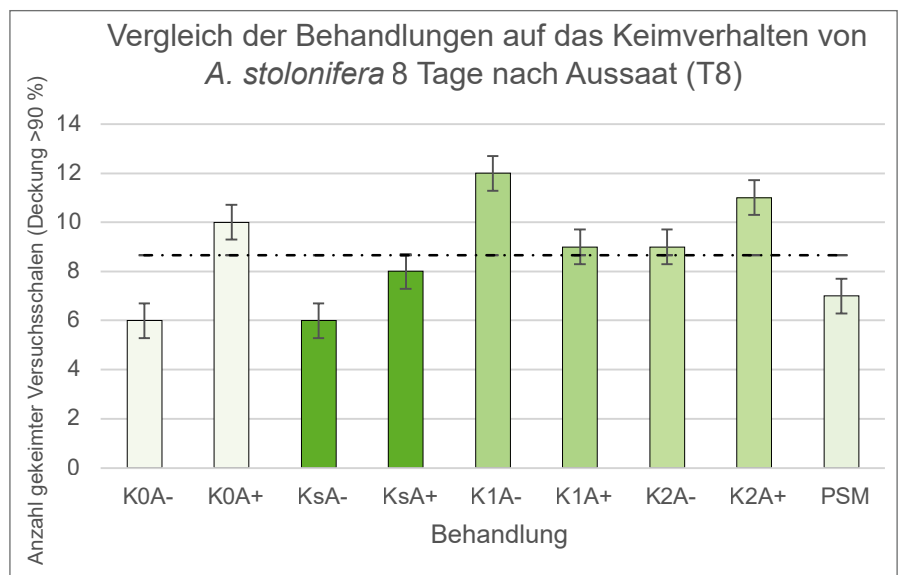


Abb. 5: Einfluss der Behandlungen auf das Auflaufverhalten von *A. stolonifera* am Tag 8 nach Aussaat (T8). Die gestrichelte Linie zeigt den Mittelwert aller Varianten. K0A- = Negativkontrolle, behandelt mit Leitungswasser; K0A+ = Behandlung mit Wasser, beimpft mit Mykorrhiza; KsA- = Behandlung mit autoklaviertem ACT; KsA+ = Behandlung mit autoklaviertem ACT, beimpft mit Mykorrhiza; K1A- = Behandlung mit ACT; K1A+ = Behandlung mit ACT, beimpft mit Mykorrhiza; K2A- = Behandlung mit ACT und *Actinomyetales*; K2A+ = Behandlung mit ACT und *Actinomyetales*, beimpft mit Mykorrhiza; PSM = Positivkontrolle, behandelt mit PSM.

Ergebnisse

Gewächshausversuch

Die Sauerstoffwerte (DO₂) vom ACT befanden sich an allen Applikations-tagen weit über 6 mg/l (7,82 – 8,66 mg/l). Die pH-Werte lagen in einem leicht alkalischen Bereich (7,86 – 8,49). Die EC-Werte befanden sich mit 687 – 1,106 µS/cm alle in einem tiefen Bereich.

Am Tag 8 nach Aussaat (T8) sind die Rasengräser der Art *Agrostis stolonifera* in den Versuchsschalen der Varianten KOA-, KsA-, KsA+ sowie PSM weniger häufig aufgelaufen als in den Versuchsschalen der Varianten KOA+, K1A-, K1A+, K2A- sowie K2A+, die über dem Mittelwert liegen (Abbildung 5). Auffällig ist die bessere Auflafrate der mit Mykorrhiza behandelten Varianten (A+), mit Ausnahme der mit K1 behandelten Varianten.

Zwischen den mit und ohne ACT behandelten Versuchsschalen konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Abbildung 6C), noch deutlicher zeigte sich der Unterschied, wenn man die mit nicht autoklaviertem ACT behandelten Versuchsschalen mit den restlichen Varianten vergleicht (Abbildung 6A), mit einer signifikant höheren Auflafrate der nicht autoklavierten ACT-Varianten. Die Applikation von nicht autoklaviertem ACT erzielte eine signifikant höhere Keimrate als autoklavierter ACT (Abbildung 6D). Die mit AMF behandelten Versuchsschalen zeigten zwar ebenfalls eine höhere Auflafrate als die Versuchsschalen ohne AMF, allerdings war der Unterschied nicht signifikant (Abbildung 6B).

In der Phase 2 am Tag 55 nach Aussaat (T55) konnten die AMF-Strukturen mikroskopisch identifiziert werden (Abbildung 7).

Die Mykorrhizierung war bei der Variante PSM am geringsten, während die höchsten Raten bei den nicht autoklavierten ACT-Varianten K1 und K2 beobachtet wurden (Abbildung 8).

Feldversuch

In der Studie wurde der Deckungsgrad von Krankheiten auf verschiedenen Greens und unter unterschiedlichen Behandlungen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die mit PSM behandelten Flächen C den geringsten Krankheitsbefall aufwiesen. Die ACT-behandelten Flächen KT und RKT zeigten einen höheren Befall, allerdings waren die

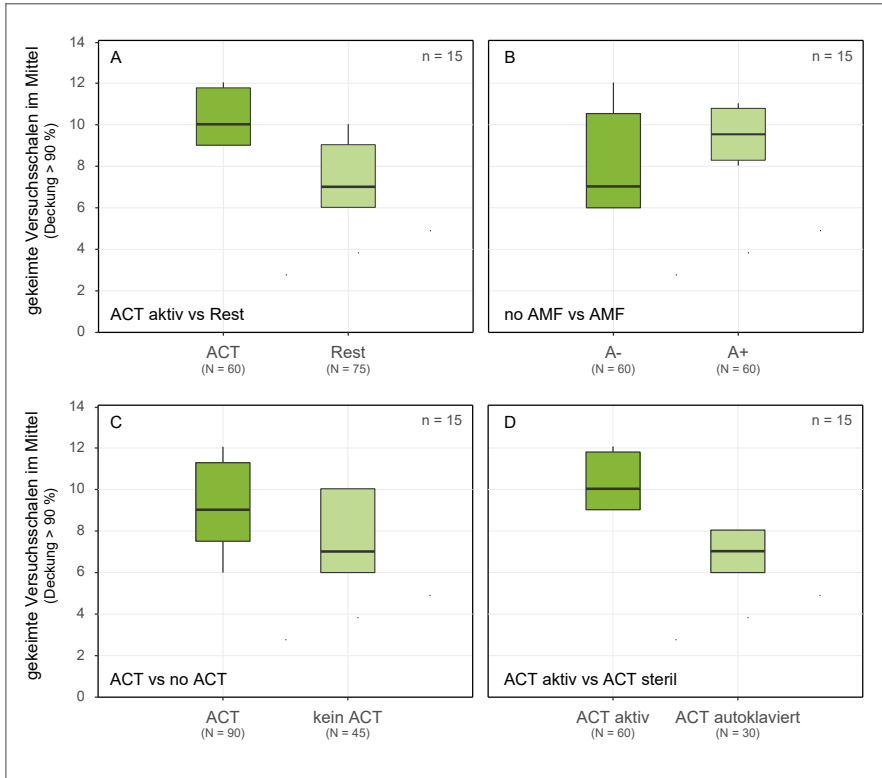


Abb. 6: Einfluss von ACT und AMF auf das Auflaufverhalten von *A. stolonifera*, Tag 8 nach Aussaat (T8). Mittelwert der gekeimten Versuchsschalen (mit einem Deckungsgrad von mindestens 90 % gekeimter Pflanzen). Drei Tage nach Aussaat (T3) erfolgte die erste Beimpfung mit den entsprechenden Behandlungen (Abbildung 3). Die AMF wurden zu Versuchsbeginn in das Substrat inokuliert. (A) Vergleich von nicht autoklaviertem ACT (mikrobiell aktiv) mit den restlichen Varianten. (B) Vergleich von mit und ohne AMF beimpften Versuchsschalen. (C) Vergleich von ACT mit den Varianten ohne ACT. (D) Vergleich von mikrobiell aktivem ACT und autoklaviertem ACT. Normalverteilungen wurden über den Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft, die Varianzgleichheiten über den Zwei-Stichproben-F-Test. Bei Varianzgleichheit wurden Signifikanzen per Zweistichproben-t-Test ermittelt, bei Varianzungleichheit per Welch-Test.

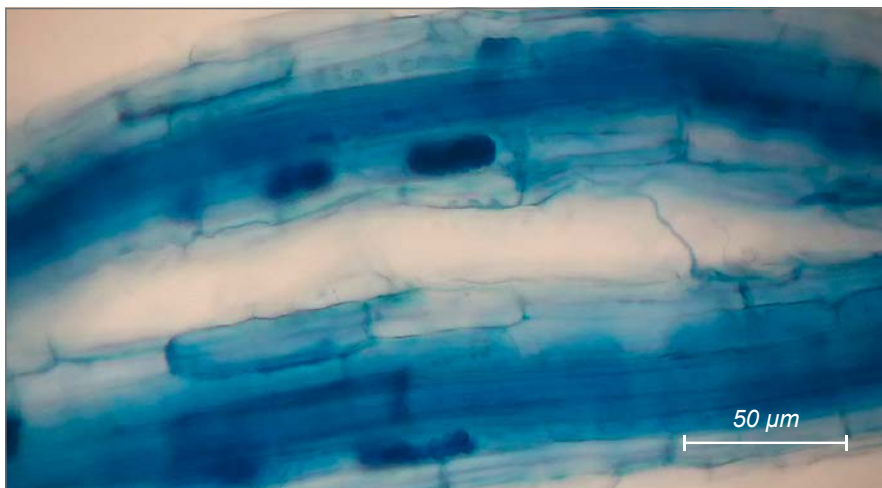


Abb. 7: AMF-kolonisierte Wurzel von *Agrostis stolonifera*. Gut zu erkennen sind die Vesikel des Mykorrhizapilzes. Die Wurzeln wurden mit Tinten-Essig-Lösung gefärbt und unter dem Mikroskop ausgewertet.

den. Die Auswertung fand an anderen Tagen als die ACT-Applikation statt. Für die Nährstoffanalysen wurden Boden- (Nährstoffgehalt im Boden) und Blattsaftproben (Nährstoffgehalt im Pflanzensaft zur Untersuchung der aktuellen Nährstoffversorgung) von Green 2 entnommen.

Für die statistische Auswertung wurde RStudio verwendet, wobei das Signifikanzniveau bei $\alpha = 0.05$ lag. Die Methodik und Ergebnisse wurden über Boxplots und Modelldiagnostik geprüft. Signifikanztests wurden je nach Datenverteilung per t-Test oder Wilcoxon-Test durchgeführt.

Unterschiede zu den PSM-behandelten Flächen statistisch nicht signifikant. Zwischen den C-Flächen und der Negativkontrolle 0 sowie zwischen C-Flächen und den mit reduzierter Düngergabe behandelten R-Flächen wurden signifikante Unterschiede im Krankheitsbefall festgestellt.

Beim Vergleich der Greens zeigte Green 2 den höchsten Deckungsgrad der Krankheiten, signifikant höher als bei Green 8 und Green 5. Der Deckungsgrad auf Green 8 war signifikant höher als auf Green 5, aber die Unterschiede zwischen den einzelnen Flächentypen innerhalb der Greens waren größtenteils nicht signifikant.

Über den gesamten Zeitraum der Studie war der Krankheitsdruck in Woche 11 (Vw11) am höchsten, mit einem signifikanten Anstieg im Vergleich zu Woche 1 (Vw1) und einem signifikanten Rückgang bis Woche 22 (Vw22). Besonders auf Green 2 zeigte sich in Vw11 der höchste Befall, wobei die ACT-behandelten Flächen KT und RKT den geringsten Befall aufwiesen, allerdings ohne signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen (Abbildung 9).

Die Anzahl der Infektionsstellen auf den Greens variierte ebenfalls, wobei Green 2 die höchste und Green 5 die niedrigste Anzahl aufwies. Die Unterschiede zwischen den Greens sowie zwischen den verschiedenen Behandlungen innerhalb der Greens waren teilweise signifikant, was auf die Wirksamkeit der Behandlungen hinweist. Insbesondere zeigte sich, dass die PSM-behandelten Flächen C generell den geringsten Befall und die wenigsten Infektionsstellen hatten.

Der Deckungsgrad von *Agrostis stolonifera* nahm von Woche 1 zu Woche 11 zu und blieb bis Woche 22 relativ stabil, mit der höchsten Zunahme bei den KT-Flächen (Abbildung 10).

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der Infektionsstellen und dem Deckungsgrad von *Agrostis stolonifera* wurde festgestellt (Abbildung 11), was darauf hindeutet, dass ein höherer Anteil von *Agrostis stolonifera* mit einer geringeren Anzahl an Infektionsstellen korreliert.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass der Einsatz von PSM den geringsten Krankheitsbefall und die wenigsten Infektionsstellen zur Folge hatte, während die Unterschiede zwischen den ACT-behandelten und den Kontroll-

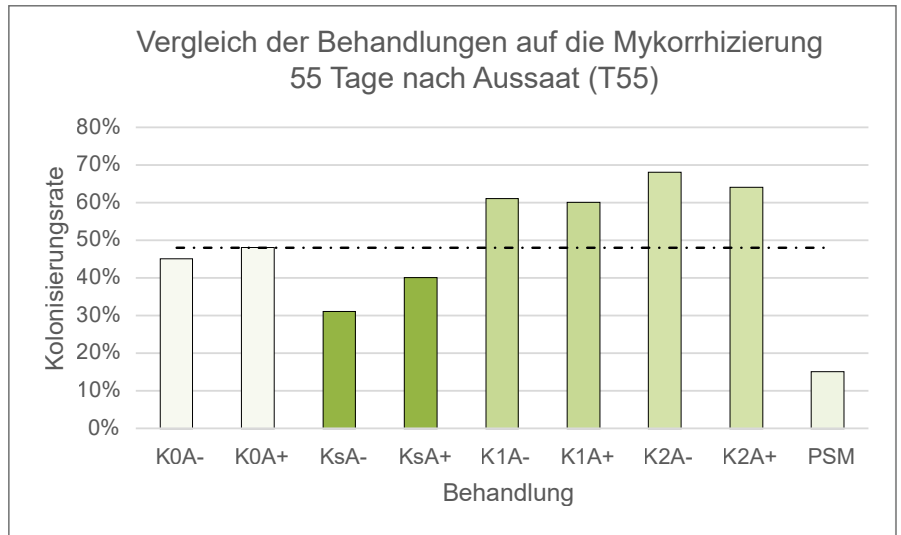


Abb. 8: Vergleich der Behandlungen auf die Mykorrhizierung 55 Tage nach Aussaat (T55). Die gestrichelte rote Linie zeigt den Mittelwert aller Varianten. K0A- = Negativkontrolle, behandelt mit Leitungswasser; K0A+ = Behandlung mit Wasser, beimpft mit Mykorrhiza; KsA- = Behandlung mit autoklaviertem ACT; KsA+ = Behandlung mit autoklaviertem ACT, beimpft mit Mykorrhiza; K1A- = Behandlung mit ACT; K1A+ = Behandlung mit ACT, beimpft mit Mykorrhiza; K2A- = Behandlung mit ACT und *Actinomyces*; K2A+ = Behandlung mit ACT und *Actinomyces*, beimpft mit Mykorrhiza; PSM = Positivkontrolle, behandelt mit PSM.

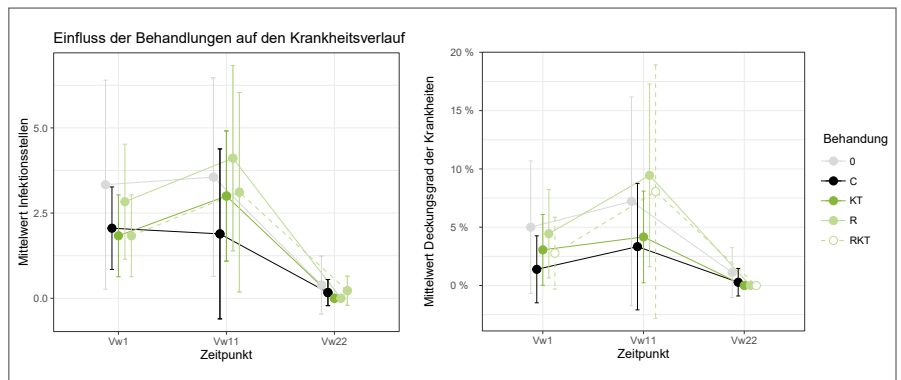


Abb. 9: Verlauf der Infektionsstellen (links) und des Deckungsgrads der Krankheiten (rechts) im Mittel auf den Plots der Greens über den Versuchsverlauf. C = Konventionelle Behandlung mit PSM; KT = ACT; RKT = ACT und reduzierte Düngung; R = reduzierte Düngung; 0 = Negativkontrolle; ALL = Infektionsstellen über alle Behandlungen hinweg. Vw1 = Versuchswoche 1; Vw11 = Versuchswoche 11; Vw22 = Versuchswoche 22.

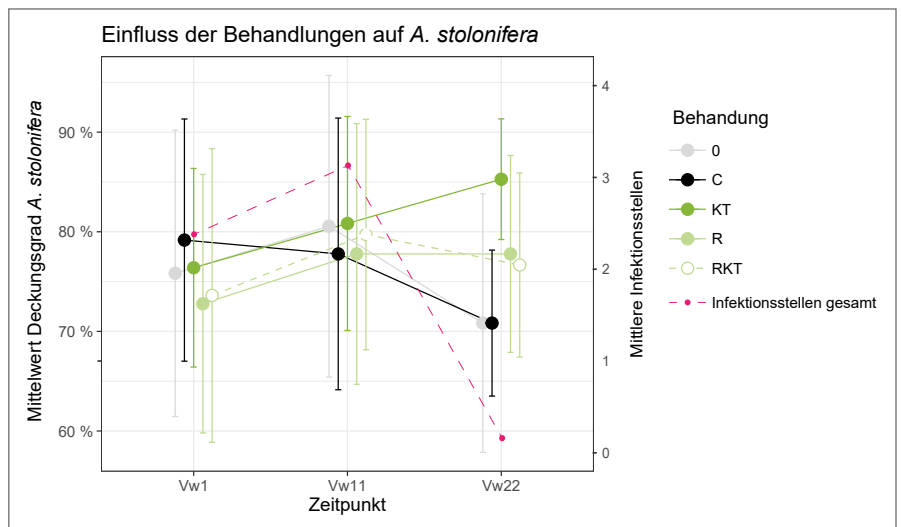


Abb. 10: Verlauf des Deckungsgrads von *A. stolonifera* im Mittel auf den Plots der Greens über den Versuchsverlauf. C = Konventionelle Behandlung mit PSM; KT = ACT; RKT = ACT und reduzierte Düngung; R = reduzierte Düngung; 0 = Negativkontrolle; Vw1 = Versuchswoche 1; Vw11 = Versuchswoche 11; Vw22 = Versuchswoche 22.

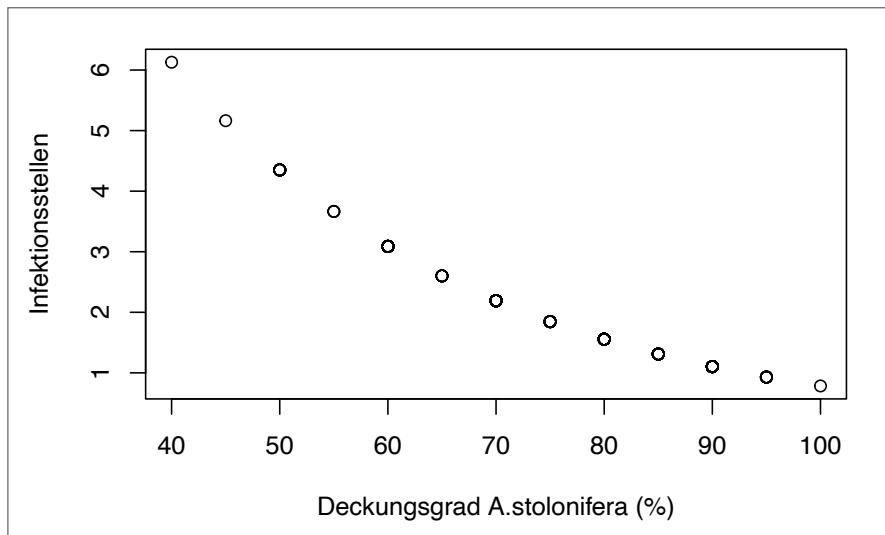


Abb.11: Zusammenhang zwischen den Infektionsstellen und dem Deckungsgrad von *A. stolonifera*. Das Poisson-Modell erwies sich als am besten geeignetes Regressionsmodell. Der geschätzte Parameter Infektionsstellen (0,0318, $p < 0,001$) und der Korrelationskoeffizient *A. stolonifera* (-0,034, $p < 0,001$) sind hochsignifikant zueinander. Das negative Vorzeichen beim

flächen oft nicht signifikant waren. Der Krankheitsdruck variierte im Laufe der Zeit und zwischen den verschiedenen Greens, mit dem höchsten Befall in Woche 11 und signifikanten Unterschieden im Befall zwischen den Greens sowie zwischen den Behandlungen.

Die Blattsaftanalysen zeigten, dass die Kaliumversorgung generell hoch war, mit der höchsten Konzentration in der Negativkontrolle. Auffällig war der durchgängig hohe Eisen-Gehalt über alle Varianten. Die Variante ohne Anwendung von ACT (C) wies den niedrigsten Phosphor-Gehalt auf, während Magnesium bei allen Varianten gering und Calcium hoch war. Flächen, die mit ACT behandelt wurden, zeigten bis auf Calcium und Natrium höhere Nährstoffwerte im Vergleich zu Variante C.

Bei den Bodenanalysen lagen die Phosphor-Gehalte in allen Varianten im unteren bis mäßigen Bereich, ähnlich verhielt es sich mit Kalium, mit Ausnahme einer Variante. Die Nitratwerte variierten signifikant zwischen den Behandlungen, wobei die geringsten Mengen in der Negativkontrolle ohne Düngung festgestellt wurden und die höchsten Werte bei der Behandlung mit ACT und reduzierter Düngermenge. Die Positivkontrolle, die volle Düngermengen und PSM erhielt, zeigte den zweithöchsten Nitratwert.

Die Analyse der nicht löslichen und löslichen Nährstoffgehalte im Boden offenbarte, dass die Positivkontrolle tendenziell die niedrigsten Werte für löslichen Phosphor und die höchsten für nicht lösliche Calcium- und Magnesium-

Werte aufwies. Behandlungen mit ACT und/oder reduzierter Düngermenge zeigten im Allgemeinen eine verbesserte Nährstoffverfügbarkeit im Vergleich zur Negativkontrolle und teilweise auch im Vergleich zur Positivkontrolle.

Diskussion

Gewächshausversuch

Die Anwendung von ACT zeigte eine auflauffördernde Wirkung auf *Agrostis stolonifera*. Insbesondere bei den nicht autoklavierten Varianten K1 und K2 war die Wirkung ausgeprägter und lässt auf den positiven Einfluss der aktiven Mikrobiologie schließen. Diese Resultate decken sich mit anderen Studien und bestätigen die auflauffördernde Wirkung von PGPR (RIEGER, 2021; QIN et al., 2016; GHOLAMI et al., 2009; SHAIKAT et al., 2006). Pflanzenhormone werden sowohl von Pflanzen als auch von Bakterien produziert und beeinflussen die Auflaufrate stark (GUPTA et al., 2015; MIRANSARI and SMITH, 2013). Die reiche mikrobielle Vielfalt im ACT legt nahe, dass er zahlreiche PGPR-Arten mit keimungsfördernden Eigenschaften beherbergt. Zu diesen gehört auch *Acinetobacter*, das als vorherrschende Gattung erkannt wurde und dem eine signifikante Rolle bei der Stimulierung des Keimprozesses zugeschrieben wird (AMINI et al., 2017).

Die Inokulation mit arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMF) zeigte über alle Varianten hinweg keinen Einfluss auf das Auflaufverhalten, allerdings wurde bei den meisten Varianten eine positive

Wirkung der Kombination von AMF und ACT auf das Keimverhalten beobachtet. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Zugabe von Nährstoffen im Herstellungsprozess von ACT bestimmte mikrobielle Gruppen fördern könnte, die antagonistisch zu AMF wirken. Jedoch könnte die Beigabe von Actinomycetales diesen Effekt negieren. Die hohe Kolonisierungsrate von AMF bei den nicht autoklavierten ACT-Varianten zeigt, dass die natürlich vorkommenden AMF in ACT möglicherweise eine erfolgreiche Mykorrhizierung fördern und kräftigt die These, dass die Anwendung von Kompost als natürliches AMF-Inokulum kommerziellen Produkten überlegen sein könnte (ANDERSEN, 2013).

Die Ergebnisse dieses Versuchs zeigen, dass die aktive Mikrobiologie vom hier verwendeten ACT im Keimstadium einen positiven Einfluss auf die Pflanze hat. Ob sich die im ACT enthaltene Mikrobiologie langfristig ansiedelt, ist noch ungeklärt.

Feldversuch

Es zeigt sich, dass konventionelle PSM insgesamt den besten Schutz bieten, insbesondere unter mäßigem Krankheitsdruck, wie auf den Greens 5 und 8 beobachtet. Bei starkem Krankheitsdruck jedoch erreicht ACT eine mit PSM vergleichbare Wirksamkeit, was die potenzielle Rolle von im ACT enthaltenen Mikroorganismen und Signalmolekülen für diese suppressive Wirkung hervorhebt.

Interessanterweise variieren die Krankheitsdruckniveaus signifikant zwischen den Greens, was auf Einflüsse des Mikroklimas und der Feuchtigkeitsbedingungen zurückgeführt wird. Die Studie unterstreicht, dass *Agrostis stolonifera*, insbesondere unter Sommerbedingungen, eine Zunahme des Deckungsgrades zeigt und gegenüber bestimmten Krankheiten resistenter als *Poa annua* ist. Es wird vermutet, dass die Förderung von *Agrostis stolonifera* durch ACT indirekt den Krankheitsdruck senken könnte, vorausgesetzt, die Pflanzen sind während Trockenperioden ausreichend mit Wasser versorgt. Die Anfälligkeit von *Agrostis stolonifera* auf Trockenstress (MA et al., 2017) ist die Kehrseite dieser Grasart.

Neben der Applikation von ACT sollte auch die mechanische Bewirtschaftung angepasst werden, um den Trockenstress und damit den Krankheitsdruck zu reduzieren. Dies könnte durch eine Verringerung der Mähfrequenzen und eine Erhöhung der Schnitthöhe erreicht

werden. Langfristig könnte ACT durch die Förderung der Wurzeltiefe und die Prävention gegenüber bestimmten Krankheiten als Teil einer integrierten Krankheitsmanagementstrategie dienen. Eine kombinierte Behandlung aus ACT und PSM bei akutem Krankheitsdruck und eine Anpassung der Bewirtschaftungspraktiken könnte möglicherweise eine effektive Strategie darstellen, um den Krankheitsdruck zu minimieren und gleichzeitig die Erwartungen der Golfspieler zu erfüllen.

Wirkung von ACT auf die Nährstoffeffizienz von Gräsern auf Golf-Greens

Die im Versuch ermittelten geringen Nitratwerte im Boden mit maximal 5,6 mg/kg zeigen die geringe Nährstoffspeicherkapazität der Golf-Greens, mit einer Tendenz zu Nitratauswaschung kurz nach Düngeranwendung. Trotz empfohlener Nährstoffgaben von Stickstoff (N) und Kalium (K) gelangt weiterhin N ins Grundwasser (BAFU, 2019). Eine Erhöhung des organischen Substanzgehalts durch reduzierte Mähfrequenz könnte die Nährstoffspeicherung verbessern. Die K-Werte in den Pflanzen waren durchweg hoch, unabhängig von mäßigen Boden-K-Werten, was möglicherweise durch mineralische Verwitterung von sandigen Böden verursacht wird (BIER et al., 2018). Die K-Düngung zeigte keinen signifikanten Einfluss auf Wachstum oder Qualität der Gräser; regelmäßiges Topdressing könnte ausreichend für die K-Versorgung sein. Zumal eine hohe K-Düngung mit Winterkrankheiten in Zusammenhang steht (BIER et al., 2018).

Die auf den Greens ausgebrachte Menge P lag unterhalb der empfohlenen Düngergabe (MCCARTY, 2018). Nichtsdestotrotz befanden sich die P-Gehalte in der Pflanze alle zwischen den von JONES (1980) empfohlenen Werten von 0,3 – 0,55 %, wobei die mit PSM behandelte Fläche einen deutlich geringeren Wert aufwies als die Flächen ohne PSM-Einsatz. Den Bodenanalysen nach war genügend P im Boden vorhanden. Die P-Gehalte im Boden lagen mit 63,3 – 74,7 mg/kg weit über dem empfohlenen Bereich von 9,3 bis 19,7 mg/kg (HULL and MARTIN, 2004). Ursache für die reduzierte P-Versorgung der konventionellen Behandlung könnte die Hemmung phosphormobilisierender Organismen wie AMF sein. Eine gehemmte P-Aufnahme über Mykorrhizahyphen durch den Einsatz von PSM, unter anderem Propiconazol, wurde bereits nachgewiesen (SCHWEIGER and JAKOBSEN, 1998; HETRICK et al., 1988). Das Vorhandensein phosphor-

mobilisierender MO ist wahrscheinlich weniger auf die Applikation von ACT zurückzuführen, sondern mehr auf im Boden lebende Organismen wie die indigene AMF-Gemeinschaft, die durch moderate P-Gaben stimuliert werden kann (LIU et al., 2016). Es muss untersucht werden, ob sich AMF auch auf den intensiv gedüngten Greens etablieren können, zumal einige Studien zeigen, dass die Zahl der AMF durch eine hohe N- und P-Düngung reduziert werden (CAMENZIND et al., 2014). Ein vertieftes Verständnis über die Diversität und Zusammensetzung von AMF ist bedeutsam, um die P-Versorgung optimieren zu können (LIU et al., 2016). Somit könnte die P-Effizienz indirekt durch den ökologischen Pflanzenschutz wie die Anwendung von ACT als Ersatz für PSM gesteigert werden. Neben der Einsparung von Kosten und Ressourcen können Nährstoffauswaschungen reduziert werden. Gleiches ist auch für die Mobilisierung anderer Nährstoffe denkbar.

Die Kombination von organischen Düngern und ACT könnte die Nährstoffeffizienz steigern und Nährstoffverluste minimieren, was besonders auf Golf-Greens relevant ist, wo die Ausbringung von festem Kompost die Spielbarkeit beeinträchtigen kann.

Integration von ACT in das Golf-Green-Management

Die Integration von belüftetem Komposttee (ACT) in das Management von Golf-Greens bietet eine nachhaltige Lösung, um den wachsenden umweltpolitischen Anforderungen und den Erwartungen der Gesellschaft nach einem umweltschonenden Umgang mit Ressourcen gerecht zu werden. Greenkeeper stehen vor der Herausforderung, eine hohe Spielqualität zu gewährleisten, während sie gleichzeitig den Einsatz von PSM minimieren und den Stress auf Pflanzen und Boden reduzieren müssen. Die Anwendung von ACT, die keine Anpassung der bestehenden Applikationsgeräte erfordert, fügt sich problemlos in bestehende Pflegestrategien ein und unterstützt ein ökologischeres Golf-Green-Management.

Zusätzlich zur ACT-Anwendung können weitere Maßnahmen wie die Anpassung der mechanischen Bewirtschaftung und der Einsatz von Technologien zur präzisen Wetterüberwachung und Krankheitsprävention beitragen, den chemischen Einsatz zu reduzieren und die Umweltverträglichkeit zu steigern. Diese Integration von ACT und innovativen Managementstrategien ermöglicht es,

sowohl den ökologischen Fußabdruck zu minimieren als auch die Anforderungen an die Spielqualität zu erfüllen, was eine zukunftsfähige Praxis für nachhaltiges Golfplatzmanagement darstellt.

Metagenomische Untersuchungen / Rhizobiom

Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten keine klaren Einsichten in die Beziehungen zwischen geförderten Mikroorganismen (MO) und deren Einfluss auf Keimungsverhalten oder Krankheitsunterdrückung bei *Agrostis stolonifera*. Zukünftige metagenomische Studien sind notwendig, um zu verstehen, welche Organismen aus ACT sich in der Rhizosphäre ansiedeln können und wie sie das Pflanzenwachstum und die Krankheitsresistenz beeinflussen. Die Komplexität des Rhizobioms, beeinflusst durch eine Vielzahl von Faktoren wie Pflanzenteile, Wirtsgenetik, geografische Lage und Managementpraktiken, unterstreicht die Herausforderung, ein umfassendes Verständnis der Interaktionen im Rhizobiom zu entwickeln. Ein tiefgreifendes Verständnis dieser Dynamiken ist essenziell für effektives Rhizobiom-Management und die Nutzung der vollen Potenziale von ACT in der Landwirtschaft.

Fazit

Belüfteter Komposttee (ACT) präsentiert sich als kostengünstige und umweltfreundliche Alternative zu herkömmlichen PSM, mit nachgewiesener krankheitsunterdrückender Wirkung auf Golf-Greens ohne zusätzliche Anpassung der Applikationsgeräte. Der Einsatz von ACT verbessert das Keimverhalten von *Agrostis stolonifera*, unterstützt durch eine reiche Vielfalt an pflanzenwachstumsfördernden Rhizobakterien (PGPR), und könnte die Resistenz gegenüber Pathogenen wie *C. cereale* verstärken. Im Vergleich zu kommerziellen arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMF) Produkten zeigt ACT eine höhere Mykorrhizierung, was auf sein Potenzial als effektives AMF-Inokulum hinweist. Die Verbesserung der Nährstoffeffizienz und Anpassung der Pflegemethoden, wie erhöhte Schnitthöhe und reduzierte Mähfrequenz, könnten die Widerstandsfähigkeit der Rasensorte gegen Trockenstress erhöhen und sind für eine optimale Wirkung von ACT notwendig. Zukünftige Forschungen, insbesondere molekularbiologische Untersuchungen, sind essenziell, um die Interaktionen zwischen Mikroorganismen und Pflanzen detaillierter zu verstehen und die Grundlage für ein erfolgreiches Rhizobiom-Management zu legen.

Die Forschungsarbeit verdeutlicht das Potenzial eines ökologischen Managements für Golf-Greens und bietet Golfplatzbetreibern die Möglichkeit, als Innovatoren im Bereich des nachhaltigen Golfsports zu agieren. Durch die Implementierung von alternativen PSM können Betreiber nicht nur einen weiteren Schritt zur Umweltverträglichkeit beitragen, sondern auch die Qualität und Attraktivität ihrer Golfplätze steigern.

Ausblick

Die Erforschung des Pflanzenmikrobioms zeigt, wie die Gesundheit von Pflanzen durch gezielte Interaktion mit nützlichen Mikroorganismen verbessert und Krankheiten verringert werden können. Ein zentrales Anliegen ist es, die wichtigen Mikroorganismen, sogenannte „Keystone Taxa“, zu identifizieren und deren Einsatz als Werkzeug für das Pflanzenmanagement zu etablieren. Ein tiefgreifendes Verständnis des Rhizobioms kann die nachhaltige Bewirtschaftung von Pflanzen fördern, wobei belüfteter Komposttee (ACT) als potenzielle Quelle und Trägermedium für diese Schlüsselmikroorganismen dienen könnte. Zukünftig könnten spezielle Managementstrategien entwickelt werden, die Greenkeepern die Umstellung auf ein ökologisches Management von Golf-Greens erleichtern, indem sie lokale Gegebenheiten wie Bodenbeschaffenheit und klimatische Bedingungen berücksichtigen und so eine maßgeschneiderte Pflege ermöglichen.

Literatur

AGLER, M.T., J. RUHE, S. KRÖLL, C. MORHENN, S.T. KIM, D. WEIGEL and E.M. KEMEN, 2016: Microbial hub taxa link host and abiotic factors to plant microbiome variation. *PLoS biology*, 14(1), e1002352.

ALLAN-PERKINS, E., D. K. MANTER and G. JUNG, 2019: Soil Microbial Communities on Roughs, Fairways, and Putting Greens of Cool-Season Golf Courses. *Crop Science*, 59(4), 1753-1767.

AMINI, F., E. MAHDIKHANI-MOGHADDAM and A. BAGHAEE RAVARI, 2017: Introduction of Endophytic *Pseudomonas rhodesiae* and *Acinetobacter* sp. Effective on Seed Germination and Cucumber Growth Factors Improvement. *Journal of Plant Protection*, 30(4), 754-756.

ANDERSEN, T., 2013: Effects of root zone composition and nitrogen and phosphorus rates on mycorrhizal colonization in different turfgrass species on sand-based golf greens in Scandinavia (Masterarbeit). Abgerufen von <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/186484>

BAFU (Hrsg.), 2019: Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern. UmweltZustand Nr. 1901: 138 S.

BERNAL-VICENTE, A., M. ROS, F. TITTARELLI, F. INTRIGLILO and J.A. PASCUAL, 2008: Citrus compost and its water extract for cultivation of melon plants in greenhouse nurseries. Evaluation of nutriactive and biocontrol effects. *Bioresource technology*, 99(18), 8722-8728.

BIER, P.V., M. PERSCHKE, P. KOCH and D.J. SOLDAT, 2018: A long term evaluation of differential potassium fertilization of a creeping bentgrass putting green. *Plant and Soil*, 431(1-2), 303-316.

BUSBY, P.E., C. SOMAN, M.R. WAGNER, M.L. FRIESEN, J. KREMER, A. BENNETT and J.L. DANGL, 2017: Research priorities for harnessing plant microbiomes in sustainable agriculture. *PLoS biology*, 15(3), e2001793.

CROUCH, J. A., Z. CARTER, A. ISMAIEL and J.A. ROBERTS, 2017: The US National Mall microbiome: A census of rhizosphere bacteria inhabiting landscape turf. *Crop Science*, 57(S1), S-341.

DOHERTY, J. R., 2018: Understanding the Influence of Microbial Sources and Time on the Developing Creeping Bentgrass Microbiome (Dissertation). Abgerufen von <https://drum.lib.umd.edu/handle/1903/21019>.

EMMETT, B.D., N.D. YOUNGBLUT, D.H. BUCKLEY and L.E. DRINKWATER, 2017: Plant phylogeny and life history shape rhizosphere bacterial microbiome of summer annuals in an agricultural field. *Frontiers in microbiology*, 8, 2414.

FOUDA, S.E. and A.S. ALI, 2016: The effects of the conjunctive use of compost tea and inorganic fertilizers on radish (*Raphanus sativus*) nutrient uptake and soil microorganisms. *Egypt. J. Soil Sci*, 56, 261-280. Gholami, A., Shahsavani, S., and Nezarat, S. (2009). The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling growth and yield of maize. *Int J Biol Life Sci*, 1(1), 35-40.

GÓMEZ, P., S. PATERSON, L. DE MEESTER, X. LIU, L. LENZI, M.D. SHARMA and A. BUCKLING, 2016: Local adaptation of a bacterium is as important as its presence in structuring a natural microbial community. *Nature communications*, 7(1), 1-8.

GUPTA, G., S.S. PARIHAR, N.K. AHIRWAR, S.K. SNEHI and V. SINGH, 2015: Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): current and future prospects for development of sustainable agriculture. *J Microb Biochem Technol*, 7(2), 096-102.

HARTMAN, K., M.G. VAN DER HEIJDEN, R.A. WITTEWER, S. BANERJEE, J.C. WALSER and K. SCHLAEPPI, 2018: Cropping practices manipulate abundance patterns of root and soil microbiome members paving the way to smart farming. *Microbiome*, 6(1), 1-14.

HETRICK, B.D., G.T. WILSON and A.P. SCHWAB, 1988: Effects of soil microorganisms on mycorrhizal contribution to growth of big bluestem grass in non-sterile soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 20(4), 501-507.

HSIANG, T. and L. TIAN, 2007: Compost tea for control of dollar spot. Department of Environmental Biology, University of Guelph-GTI Annual Research Report.

HULL, J.D. and J.D. MARTIN, 2004: Phosphate requirements of creeping bent (*Agrostis stolonifera*) putting green turf. In Proc. Fourth International Crop Science Congress, Brisbane, Australia.

JONES, M.D., and SMITH, S.E. (2004). Exploring functional definitions of mycorrhizas: are mycorrhizas always mutualisms? *Canadian Journal of Botany*, 82(8), 1.089-1.109.

JOSHI, D., HOODA, K. S., BHATT, J. C., MINA, B. L., and GUPTA, H. S. (2009). Suppressive effects of composts on soil-borne and foliar diseases of French bean in the field in the western Indian Himalayas. *Crop Protection*, 28(7), 608-615.

LIU, X., and B. HUANG, 2002: Mowing effects on root production, growth, and mortality of creeping bentgrass. *Crop Science*, 42(4), 1.241-1.250.

LUNDBERG, D.S., S.L. LEBEIS, S.H. PAREDES, S. YOURSTONE, J. GEHRING, S. MALFATTI and R.C. EDGAR, 2012: Defining the core *Arabidopsis thaliana* root microbiome. *Nature*, 488(7409), 86-90.

MA, Y., V. SHUKLA and E.B. MEREWITZ, 2017: Transcriptome analysis of creeping bentgrass exposed to drought stress and polyamine treatment. *PLoS one*, 12(4), e0175848.

MCCANN, K.S., 2000: The diversity–stability debate. *Nature*, 405(6783), 228-233.

MCCARTY, L., 2018: Golf turf management. CRC Press.

MIRANSARI, M. and D. SMITH, 2009: Rhizobial lipo-chitooligosaccharides and gibberellins enhance barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination. *Biotechnology*, 8(2), 270-275.

MITTER, B., N. PFAFFENBICHLER, R. FLAVELL, S. COMPANT, L. ANTONIELLI, A. PETRIC and A. SESSITSCH, 2017: A new approach to modify plant microbiomes and traits by introducing beneficial bacteria at flowering into progeny seeds. *Frontiers in Microbiology*, 8, 11.

MORALES-CORTES, M.R., R. PÉREZ-SÁNCHEZ and M.Á. GÓMEZ-SÁNCHEZ, 2018: Efficiency of garden waste compost teas on tomato growth and its suppressiveness against soilborne pathogens. *Scientia Agricola*, 75(5), 400-409.

QIN, Y., X. PAN and Z. YUAN, 2016: Seed endophytic microbiota in a coastal plant and phytobeneficial properties of the fungus

Cladosporium cladosporioides. Fungal Ecology, 24, 53-60.

RIEGER, L., 2021: Einfluss verschiedener Komposte und Nährstoffzugaben zum Herstellungsprozess auf die bakterielle Zusammensetzung von Komposttee und dessen Wirkung auf die Pflanzenvitalität und des Auflaufens von Mais (*Zea mays*) und Gurke (*Cucumis sativus*). Unveröffentlichte Projektarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Wädenswil.

SAMET, M., M. CHARFEDDINE, L. KAMOUN, O. NOURI-ELLOUZE and R. GARGOURIBOUZID, 2018: Effect of compost tea containing phosphogypsum on potato plant growth and protection against *Fusarium solani* infection. Environmental Science and Pollution Research, 25(19), 18921-18937.

SCHWEIGER, P. F. and I. JAKOBSEN, 1998: Dose-response relationships between four pe-

sticides and phosphorus uptake by hyphae of arbuscular mycorrhizas. Soil Biology and Biochemistry, 30(10-11), 1.415-1.422.

SHAUKAT, K., S. AFFRASAYAB and S. HANNAIN, 2006: Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. J Agric Res, 1(6), 573-581.

SIDDIQUI, Y., S. MEON, R. ISMAIL, M. RAHMANI and A. ALI, 2008: Bio-efficiency of compost extracts on the wet rot incidence, morphological and physiological growth of okra (*Abelmoschus esculentus* [(L.) Moench]). Scientia Horticulturae, 117(1), 9-14.

ST. MARTIN, C. C. G., W. DORINVIL, R.A.I. BRATHWAITE and A. RAMSUBHAG, 2012: Effects and relationships of compost type, aeration and brewing time on compost tea properties, efficacy against *Pythium* ulti-

mum, phytotoxicity and potential as a nutrient amendment for seedling production. Biological Agriculture & Horticulture, 28(3), 185-205.

VIERHEILIG, H., A.P. COUGHLAN, U. WYSS and Y. PICHÉ, 1998: Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. Applied and environmental microbiology, 64(12), 5.004-5.007.

WHIPPS, J.M., 1990: Carbon economy. The rhizosphere., 59-97.

Autor:

M.Sc. Lorenz Rieger
(ZHAW Wädenswil)
CH 4612 Wangen bei Olten
braumaltee@gmail.com

Kleine Mähroboter auf dem Golfplatz: Erfahrungen von Greenkeepern, Golfern und Forschern in Skandinavien

Hesselsøe, K.J., A.F. Borchert und T.S. Aamlid

Zusammenfassung

Wie sich das Mähen mit kleinen Mährobotern auf die Rasenqualität auf dem Golfplatz auswirkt, wurde im Rahmen des von STERF und Husqvarna finanzierten ROBOGOLF-Projekts für Fairway und Semi-Rough in den Jahren 2020 bis 2023 untersucht. Auf fünf nordischen Golfplätzen und auf der Forschungsstation des NIBIO in Landvik (Norwegen) wurden hierzu Husqvarna 550 Mähroboter eingesetzt, die innerhalb von Begrenzungskabeln unsystematisch die Flächen täglich mähten. Deren Schnitt wurde mit herkömmlichen Fairway- und Rough-Mähern verglichen, die drei- bzw. zweimal pro Wochen zum Einsatz kamen. Neben den Praxis- und Exaktversuchen wurde eine Umfrage unter den Golfspielern der fünf Golfplätze durchgeführt, wie diese zu einer Umstellung auf Mähroboter stehen. Die Demoversuche auf den fünf nordischen Golfplätzen und die Erfahrungen der Greenkeeper zeigten:

- Die Schnittqualität der kleinen Mähroboter war mit der von Spindelmähern vergleichbar.
- Die kleinen Mähroboter waren den Sichelmähern auf den Rough-Flächen

vor allem bei hohen Wachstumsraten überlegen.

- Aufgrund des geringeren Gewichts der Mähroboter erwies sich der Boden als weniger verdichtet und besser drainiert.
- Die tägliche Tauentfernung wurde als vorteilhaft bewertet.

Die Umfrage unter den Golfspielern ergab:

- Die Golfspieler standen den Mährobotern grundsätzlich positiv gegenüber oder es war ihnen egal.
- Sie empfanden die von den Mährobotern gemähte Grasnarbe als dichter und gleichmäßiger.
- Die Golfspieler wünschten sich weiterführende Spielregeln, für die Situationen, in denen der Mähroboter das Spiel behinderte.

Die abschließenden Ergebnisse der Exaktversuche auf der Forschungsstation des NIBIO zeigten:

- Die Rasenqualität bei Fairway-Schnitthöhe war bei Mährobotern und praxisüblichem Mäher gleich gut.
- Es gab weniger Krankheitsbefall und

Weißklee auf dem robotergemähten Fairway-Bereich.

- Das durch die Mähroboter gemähte Semi-Rough zeigte dagegen mehr Weißklee.
- Die Bodenverdichtung war durch den Einsatz der kleinen Mähroboter im Vergleich zum Sichelmäher im Semi-Rough geringer.
- Die Rasengräser waren durch den täglichen Mähroboterschnitt schmäler als beim praxisüblichen Schnitt.
- Es gab keinen Unterschied zwischen Mähroboter und praxisüblichem Mähen beim Düngerbedarf.

Weitere Beiträge aus dem Projekt sind unter www.sterf.org zu finden.

Summary

The objective of the ROBOGOLF-project (2020-2023) was to study the consequences of switching from traditional mowing to robotic mowing on golf course fairways and semi-roughs. Light-weight Husqvarna 550 robotic mowers, working at random within boundary cables, were compared with ordinary fairway and rough mowers at Nordic golf courses (Norway, Sweden, Iceland, Fin-