

Projekt RoboFitz: Einfluss des Mähens mit Mährobotern auf die Filzbildung im Rasen

Teil 1: Hypothesen, Material und Methoden, Literaturübersicht

Morhard, J.

Zusammenfassung

Der Einsatz von Mährobotern steht im Verdacht, durch den Verbleib des Schnittguts auf der Fläche, die Rasenfilzbildung zu begünstigen. Die vorliegenden Ergebnisse des Projektes „RoboFitz“ zeigen nach zweijähriger Laufzeit diesbezüglich weder auf einem neu gebauten Sportplatz noch auf einer Rasenversuchsfläche aus Oberboden eine besorgniserregende Entwicklung. Teilweise lagen die Filzstärken der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ (Standard) sogar über denen der Variante „Mähroboter“ (Bigmow), wenngleich signifikant nur an einem Termin und auf der Rasenfläche aus Oberboden. Insgesamt wurden nur an wenigen Terminen signifikante Unterschiede festgestellt. Es ist davon auszugehen, dass u. a. die Witterung und Maßnahmen zur Filzkontrolle einen größeren Einfluss auf Filzbildung und -abbau besitzen als das Mähsystem. Der Scherwiderstand als Größe, die unter anderem von der Filzschicht beeinflusst wird, wurde sowohl mit einem Stollenschergerät als auch mit einer Flügelsonde bestimmt. Die Werte liegen in einem Bereich, der keine Beeinträchtigung des Spielbetriebs erwarten lässt. Während mit dem Stollenschergerät bei der Mähroboter-Variante, gegenüber der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“, oft geringere Werte gemessen wurden, war es bei der Flügelsonde umgekehrt. Signifikante Unterschiede waren aber auch hier selten und konnten keinen eindeutigen Trend belegen.

Summary

Robotic lawnmowers are suspected of promoting the formation of thatch by remaining clippings within the sward. The present results of the „RoboFitz“ project do not show any worrying development in this regard neither on an athletic field nor on a topsoil test plot. In some cases, the values for the “rotary mower with clipping removal” (Standard) variant were even higher than those for the “robotic lawnmower“ (Bigmow) variant, even though significantly only at one date and on the topsoil test plot. In general, significant differences were only found on a few dates. It can be assumed that weather conditions and measures to control thatch have a greater influence on thatch formation and degradation than the mowing system. The shear resistance was determined both with a rotational resistance apparatus and with a traditionally vane shear probe. The values are in a range where no restrictions of playing conditions are to be expected. An interesting fact is that lower values were often measured with the rotational resistance apparatus within the robotic lawnmower variant compared to the “rotary mower with clippings removal” variant, it was the opposite when measurement were done with the vane probe. However, significant differences were also rare and could not prove a clear trend.

Einleitung

Beim Einsatz von Mährobotern auf Sportplätzen wird der Verbleib des Schnittguts auf der Fläche von Platzverantwortlichen und Dienstleistern oft kritisch gesehen. Die Hypothesen lauten:

- Auf Rasenspielfeldern führt der Einsatz von Mährobotern rasch zu einer deutlichen Filzakkumulation.
- Dieses Verhalten tritt vor allem auf neu gebauten Sportplätzen mit sandreicher Rasentragschicht auf.
- Durch den Filz wird die Scherfestigkeit negativ beeinflusst.

Ziel des vom Fördererkreis Landschafts- und Sportplatzbauliche Forschung e.V. initiierten und finanzierten Projektes war es, den Filzaufbau und seine Auswirkungen in Abhängigkeit vom Mähsystem und der Art des Bodenaufbaus zu untersuchen. Verglichen wurden Mähroboter vom Typ Bigmow Connected Line (Belrobotics) gegenüber herkömmlichen Sichelmähern mit Schnittgutaufnahme. Die Untersuchungen wurden auf einem eigens dafür angelegten Rasenversuchsfeld an der Versuchsstation der Universität Hohenheim und auf einem neu gebauten kommunalen Sportplatz mit regulärem Spielbetrieb durchgeführt. Die Laufzeit des Projektes betrug zwei Jahre. Die Messungen endeten im November 2022. Die Mähroboter für beide Flächen wurden für die Dauer des Projektes von vom Unternehmen Belrobotics (Yamabiko) zu Verfügung gestellt.

Material und Methoden

Versuchsflächen

Die Untersuchungen wurden auf einer Rasenfläche an der Versuchsstation der Universität Hohenheim und auf einem kommunalen Sportplatz durchgeführt.

• **Rasenversuchsfeld der Universität Hohenheim**

Die Rasenfläche wurde 2019 auf dem Gelände der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim neu angelegt (Abbildung 1). Als Basis diente zuvor landwirtschaftlich genutzter sandig-lehmiger Oberboden. Deshalb wurde angenommen, dass die Fläche eine ausreichend hohe mikrobielle Aktivität aufweist. In Bezug auf die Filzbildung sollte dies den Zustand eines einfach aufgebauten, älteren Rasenspielfeldes abbilden.

Für die Etablierung der Grasnarbe wurden vier verschiedene Saatgutmischungen mit jeweils zwei Wiederholungen angesät (Abbildung 2). Auf diese Weise sollte sich über die Versuchsfrage hinaus der Einfluss verschiedener Grasarten auf den Filzaufbau unter den beiden Mähsystemvarianten beobachten lassen. Im vorliegenden Bericht wurde nicht nach Mischungen differenziert ausgewertet, sondern die Mischungsvarianten der jeweiligen Mähsystemvariante zugeschlagen.

Für die Versuche wurde das gesamte Rasenversuchsfeld (87 m x 19,2 m) in zwei Hälften aufgeteilt. Eine Hälfte wurde konventionell mit einem Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme gemäht. Die organische Substanz des Schnittguts wurde dabei entfernt. Die andere Hälfte wurde vom Mähroboter (Bigmow) geschnitten, so dass das Schnittgut auf der Fläche verblieb. Innerhalb jeder Hälfte befanden sich für die Messungen 8 markierte permanente Testflächen von je 2 m x 4 m. Eine Belastung des Rasenversuchsfelds erfolgte nur durch die unvermeidbaren Überfahrten im Rahmen des Pflegebetriebs.

Die eingestellte Schnitthöhe betrug beim Mähroboter 40 mm, während die tatsächliche Schnitthöhe, unabhängig vom Mähsystem bei 50 mm lag. Bei der Programmierung des Mähroboters wurde eine Wochenarbeitszeit von 24 Stunden festgelegt, verteilt auf Montag, Mittwoch und Freitag. Laut Analyse im Dashboard der Roboter ergab sich ein Verhältnis zwischen Lade- und Mähzeit von 1:1,63. Daraus lässt sich eine theoretische Mähzeit von 14 Stunden und 52 Minuten ableiten.

Die Messer des Sichelmähers wurden bei erkennbarer Abnahme der Schnitt-



Abb. 1: Das Rasenversuchsfeld in der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim. Im Vordergrund der Bereich, der vom Mähroboter (Bigmow) gemäht wurde.

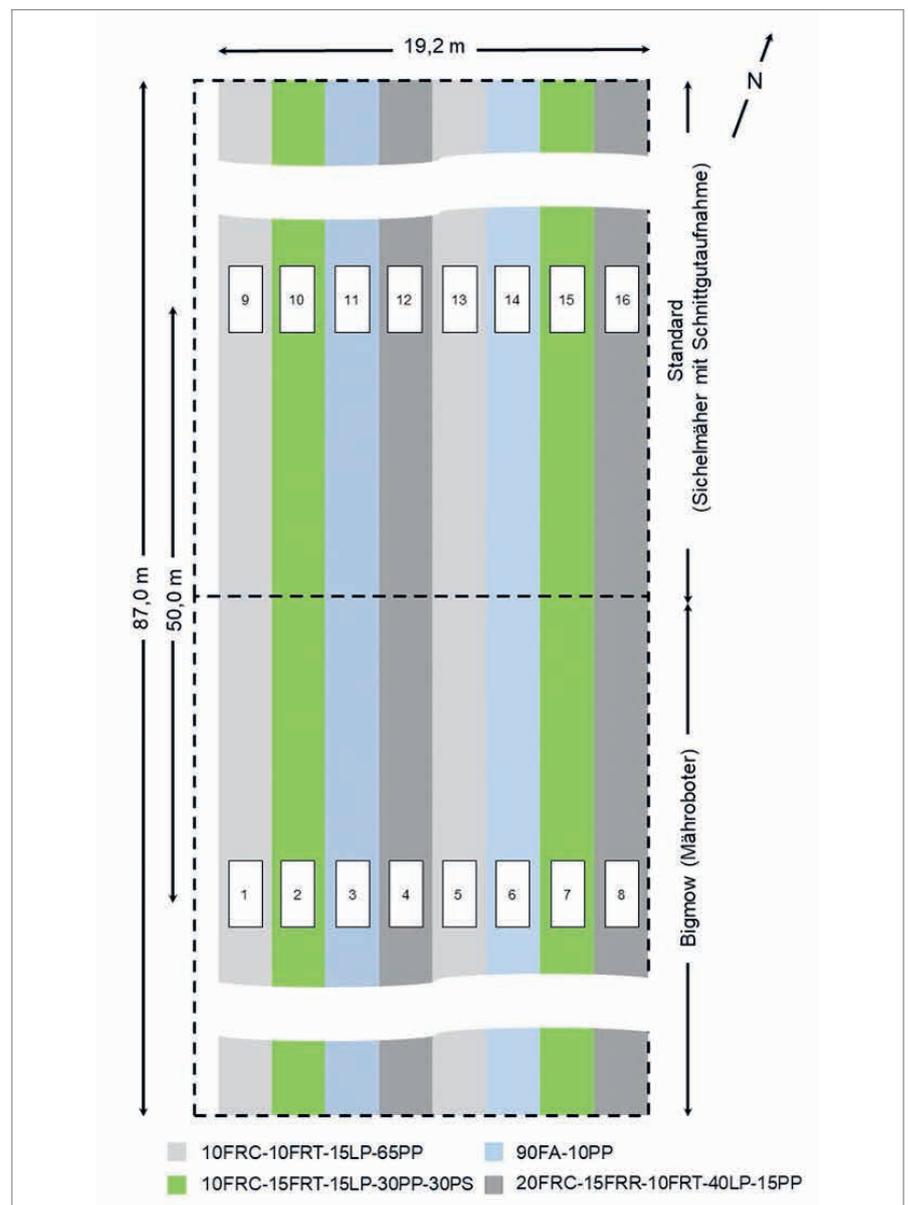


Abb. 2: Plan des Rasenversuchsfelds in der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim mit den verschiedenen Ansaatmischungen und den 2 x 8 Dauerparzellen für die Messungen. (Legende zeigt Massenprozentage. FA *Festuca arundinacea*, FRC *Festuca rubra commutata*, FRR *Festuca rubra rubra*, FRT *Festuca rubra trichophylla*, LP *Lolium perenne*, PP *Poa pratensis*, PS *Poa supina*).

qualität geschliffen und bei erkennbaren Beschädigungen ausgetauscht. Bei Abnahme der Schnittqualität im Bereich der mährobotergemähten Fläche erfolgte ein Klingentausch.

Die Pflegemaßnahmen während der Versuchslaufzeit beschränkten sich auf eine am Bedarf der Fläche orientierte Düngung in Höhe von jährlich ca. 15 g N/m². Als mechanische Maßnahme zur Filzreduktion wurde außerdem die gesamte Fläche in beiden Versuchsjahren je einmal gestriegelt und das Material anschließend entfernt (10.03.2021 und 24.03.2022).

• **Rasenspielfeld**

Als zweite Versuchsfläche diente ein neu gebauter Fußballplatz mit einer sandreichen Rasentragschicht nach DIN 18035-4 (DIN, 2018). Sie befindet sich ca. 10 km von der Universität entfernt. Hier wurden die Versuche unter realen Spielbedingungen durchgeführt (Abbildung 3). Es wurde angenommen, dass die mikrobielle Aktivität auf dem neu gebauten Platz noch wenig entwickelt ist, mit der Folge einer generell höheren Filzbildung als auf dem Rasenversuchsfeld mit Oberboden.

Für die Versuche wurde das Feld ebenfalls in zwei Hälften geteilt (Abbildung 4). Eine Hälfte wurde konventionell mit einem Sichelmäher mit Schnitrgutaufnahme („Standard“) gemäht. Die andere Hälfte wurde vom Mähroboter („Bigmow“) geschnitten, so dass das Schnittgut auf der Fläche verblieb. Innerhalb jeder Hälfte befanden sich für die Messungen vier markierte Dauerquadrate von je 4 m x 4 m. Die Lage der Dauerquadrate entlang der Mittelachse und in den Randbereichen des Spielfelds soll unterschiedliche Belastungsintensitäten abbilden (KOLB und MANSOURIE, 1982). Im vorliegenden Beitrag wurde deshalb zusätzlich nach den Positionen der Dauerquadrate differenziert ausgewertet, wengleich damit eine Halbierung der Anzahl an Wiederholungen verbunden war.

Der Mähroboter wurde im August 2020 installiert. Die eingestellte Schnitthöhe des Roboters betrug 20 mm, während die tatsächliche Schnitthöhe, unabhängig vom Mähsystem, bei 30 mm lag. Die Messer des Sichelmähers wurden bei erkennbarer Abnahme der Schnitt-



Abb. 3: Das Rasenspielfeld (Sportplatz). Im Vordergrund der Mähroboter vom Typ Bigmow Connected Line.

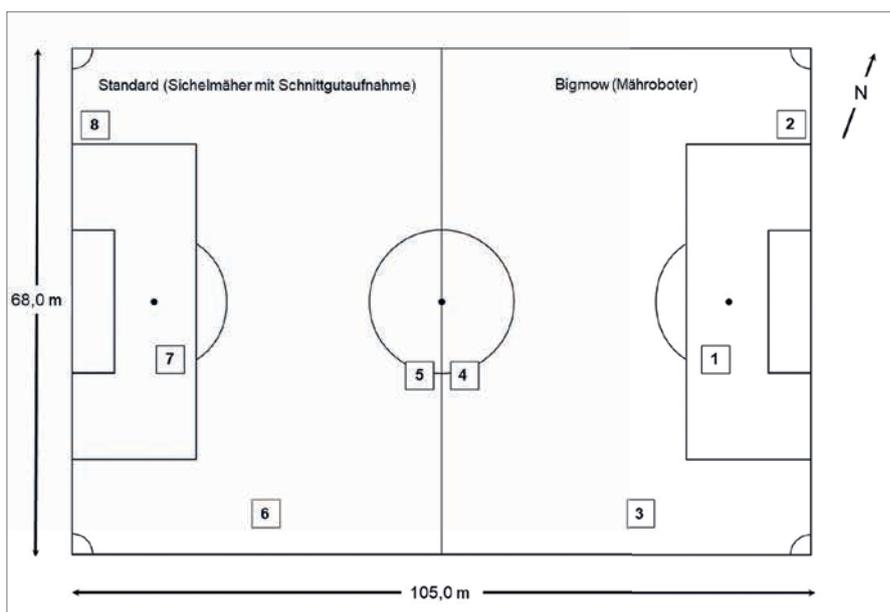


Abb. 4: Rasenspielfeld (Sportplatz) mit der Position der Dauerquadrate für die Messungen. Die westliche (linke) Hälfte des Platzes wurde mit einem Sichelmäher mit Schnitrgutaufnahme gemäht, die östliche (rechte) Hälfte mit dem Mähroboter (Bigmow) geschnitten.

qualität geschliffen. Bei Abnahme der Schnittqualität im Bereich der mährobotergemähten Fläche erfolgte ein Klingentausch, in der Regel alle vier Wochen. Bei der Programmierung des Mähroboters wurde eine Wochenarbeitszeit von 60 Stunden festgelegt, verteilt auf sieben Tage. Laut Analyse im Dashboard der Roboter ergab sich ein Verhältnis zwischen Lade- und Mähzeit von 1:1,63. Daraus lässt sich eine theoretische Wochenmähzeit von 37 Stunden und 12 Minuten ableiten.

Die wichtigsten Pflegemaßnahmen umfassten, die Düngung sowie mechanische Maßnahmen zur Bodenpflege. Das Düngenniveau lag während der Versuchslaufzeit bei ca. 25 g N /m²·a. Der

gesamte Platz wurde 2021 je einmal gestriegelt (26.03.) und vertikutiert (21.09.). Im Jahr 2022 wurde fünfmal gestriegelt (17.03., 11.04., 05.05., 13.06., 18.07.) und einmal vertikutiert (31.05.). Das Material wurde in allen Fällen anschließend entfernt. In beiden Jahren wurde je zwei Tiefenlüftungsmaßnahmen mit Vollwerkzeugen durchgeführt, jeweils eine ohne (13.04.2021 und 03.05.2022) und eine in Verbindung mit einer Besandungsmaßnahme (27.09.2021 und 21.07.2022).

Die Nutzung der Rasenfläche durch den Spielbetrieb lag 2021 bei 15-20 h/w. Ab April 2022 wurde die Belastung und Nutzungsintensität durch die Aufnahme von American Football in den Spielbetrieb erhöht.

Messungen

Die nachfolgend beschriebenen Messungen wurden meist in monatlichem Abstand durchgeführt. Dargestellt sind die Versuchsjahre 2021 und 2022. Die gemessenen Parameter waren neben der Filzstärke, der Scherwiderstand, gemessen mit einem Stollenschergerät und der Scherwiderstand, gemessen mit einer Flügelsonde. Da eine exakte Messung von Rasenfilz auf Grund des unterschiedlichen Grads der Umsetzung mit Schwierigkeiten verbunden ist, ist es sinnvoll, die direkte Messung durch Bestimmung seiner Auswirkungen zu ergänzen (STÜRMER-STEPHAN und MORHARD, 2019). Für Spieler, Platzwarte oder Dienstleister sind diese Auswirkungen meist noch wichtiger als die exakte Dicke der Filzschicht.

Begleitend zu den Messungen des Scherwiderstandes wurde in der Regel der Bodenwassergehalt mit einer TRIME TDR-Sonde erfasst und aufgezeichnet, um den Einfluss auf die Ergebnisse bewerten zu können.

- **Filzstärke**

Die Stärke der Filzschicht wurde in Anlehnung an die Norm EN 12232:2003 (DIN, 2003) bestimmt. Pro Parzelle wurden mit einem Profilspaten vier Proben entnommen. Jede Probe wurde an drei Stellen gemessen und daraus der Mittelwert berechnet.

- **Scherwiderstand – Stollenschergerät**

Der Scherwiderstand der Oberfläche wurde mit einem selbstgebauten Stollenschergerät nach EN 15301-1:2007

(DIN, 2007) bestimmt (Abbildung 5). Der Stollenkörper mit sechs Stollen von je 13 mm Länge besitzt ein Gewicht von 80 kg. Um das maximale Drehmoment, das für die Torsion erforderlich ist, bestimmen zu können, wurde ein Drehmomentsensor verwendet. Der auf diese Weise oberflächennah gemessene Scherwiderstand wurde dreimal pro Parzelle gemessen, das heißt, auf dem Rasenversuchsfeld 24-mal pro Mähsystemvariante und auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) 16-mal pro Mähsystemvariante.

- **Scherwiderstand – Flügelsonde**

Der Flügelscherversuch wurde in Anlehnung an DIN 18035-4 mit einer Geonor-Flügelsonde vom Typ H-60 mit einer Flügelgröße von 20 x 40 mm ebenfalls in situ durchgeführt (DIN, 2018). Abweichend wurde pro Parzelle an neun statt an sechs Stellen beprobt. Außerdem wurde der zum Zeitpunkt der Messung vorliegende Wassergehalt nicht verändert, das heißt, es wurde kein einheitlicher Wassergehalt eingestellt. Dadurch sollten die Verhältnisse zum Zeitpunkt des Spielbetriebs abgebildet werden. Diese Entscheidung wurde zu Lasten einer Vergleichbarkeit der Werte unterschiedlicher Termine und anderer Untersuchungen getroffen.

Begleitende Beobachtungen

Neben den planmäßigen Messungen konnten im Rahmen des Projektes weitere interessante Beobachtungen gemacht werden. Da diese meist ohne entsprechende Wiederholungen erfasst und dokumentiert wurden, werden im Folgenden die wichtigsten davon ohne eigene Kapitel als begleitende Beobach-

tungen dargestellt. Über den reinen Informationsgehalt hinaus zeigen sie weiteren Forschungsbedarf auf.

- **Qualität der Grasnarbe**

Bereits wenige Wochen nach Versuchsbeginn fielen an der Grasnarbe beider Versuchsstandorte optisch erkennbare Unterschiede zwischen den Behandlungen Sichelmäher mit Schnitgutaufnahme und Mähroboter auf. Obwohl Bonituren von Qualitätsparametern der Grasnarbe im Rahmen des Projektes nicht vorgesehen waren, wurde nach Abschluss der Messungen zur Validierung der Beobachtungen bei beiden Versuchsstandorten auf Ergebnisse der Fernerkundung zurückgegriffen, um diesen Aspekt näher zu betrachten. Dazu wurden die multispektralen Daten der Sentinel-2 Satelliten rückwirkend für den Versuchszeitraum betrachtet. Von den möglichen Vegetationsindizes, die aus diesen Daten abgeleitet werden können, wurde auf Grund seiner häufigen Anwendung der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) gewählt. Er weist im Allgemeinen eine gute Korrelation zur Rasenqualität auf (LEINAUER et al., 2014).

Die Berechnung und Visualisierung für die Versuchsflächen erfolgte über das Dashboard von Greenway des Unternehmens Karuna Technology. Beim Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim wurde aus Kostengründen lediglich der Zeitraum April 2021 bis Juli 2022 visualisiert, beim Rasenspielfeld (Sportplatz) hingegen der Zeitraum April 2021 bis November 2022. Der NDVI beider Zeiträume wurden darüber hinaus, getrennt nach Versuchsflächen, numerisch ausgewertet.

- **Veränderung der Artenzusammensetzung der Ansaaten**

Die ursprüngliche Artenzusammensetzung der Parzellen des Rasenversuchsfelds in der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim hatte sich während der zweijährigen Versuchslaufzeit erkennbar verändert. Unter anderem sind unerwünschte ein- und zweikeimblättrige Arten aus den umliegenden Flächen eingewandert. Deshalb wurde am 23.06.2022 im Bereich der Messparzellen eine Deckungsgradschätzung der Vegetationsdecke durch Studierende des Moduls „Graslandwissenschaften“ (Institut für Kulturpflanzen-



Abb. 5: Stollenschergerät-Eigenbau nach EN 15301-1:2007 auf dem Rasenversuchsfeld in der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim.

wissenschaften, Dr. U. Thumm) durchgeführt.

• Bodenparameter nach Beendigung des Versuchs

Der Boden der beiden mit unterschiedlicher Technik gemähten Hälften des Rasenversuchsfelds in der Versuchstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim wurde im Frühjahr des Folgejahres, fünf Monate nach Beendigung des Versuchs, am 09.05.2023 beprobt. Ausschlaggebend dafür war, dass zu diesem Zeitpunkt trotz einheitlichen Schnittes und einheitlicher Schnittgutbehandlung auf den ersten Blick immer noch ein randscharfer Einfluss auf die Parzellen durch den zweijährigen Betrieb der unterschiedlichen Mähsysteme erkennbar war. Je Mähsystemvariante wurden aus der entsprechenden Fläche vier Proben aus jeweils zwei Tiefen, 0 – 3 cm und 3 – 10 cm, gezogen. Die Analyse der Bodenproben auf die Parameter Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt), pH-Wert, organisch gebundener Kohlenstoff (Corg), Gesamtstickstoff (Gesamt-N), Nitratstickstoff (NO₃-N), Ammoniumstickstoff (NH₄-N), Phosphor (P₂O₅) und Kali (K₂O), erfolgte durch die Core Facility Hohenheim (CFH).

• Zuverlässigkeit der Mähroboter

Während der Versuchslaufzeit traten sporadisch Störungen an den Mährobotern auf, die zu einer Fehlfunktion oder sogar zum Stillstand führten. Die wichtigsten Ursachen wurden dokumentiert und dargestellt.

Auswertung und Darstellung

Die Messungen wurden meist in monatlichem Abstand durchgeführt. Dargestellt sind die beiden Versuchsjahre 2021 und 2022. Um die Streuung bzw. die Verteilung der Messwerte zu veranschaulichen, wurde bei der Darstellung auf Boxplots zurückgegriffen. Die Mitte der Box zeigt jeweils den Median, das obere und das untere Ende die 50 % Perzentile, die stärkere Linie nahe des Medians das arithmetische Mittel. Die beiden Whisker bilden das 25 % respektive das 75 % Perzentil ab. An Terminen, die mit * gekennzeichnet sind, bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen. Die statistische Auswertung erfolgte mit R-4.3.0. Für jeden

Messtermin wurde das arithmetische Mittel aller Messungen pro Parzelle berechnet. Diese Mittelwerte wurden für jeden Messtermin mit einem zweiseitigen T-Test auf signifikante Unterschiede überprüft. Das Signifikanzniveau betrug $p=0,05$. Für die Jahre 2021 und 2022 wurde ein gemischtes Modell mit der GLS-Routine des NLME-Pakets erstellt. Als zusätzlicher Parameter wurde die Korrelation zwischen dem Messdatum hinzugefügt. Das Signifikanzniveau betrug $p=0,05$.

Ergebnisse und Diskussion folgen im Teil 2 in Ausgabe 2/25.

Literatur

AAMLID, T.S., K.J. HESSELSØE, T. PETERSEN and A.F. BORCHERT, 2021: ROBO-GOLF: Robotic mowers for better turf quality on golf course fairways and semi-roughs, Results from 2020. NIBIO Report, 7(87).

BEARD, J.B., 1973: Turfgrass: Science and Culture; Prentice-Hall, Inc.: Englewood Cliffs, NJ, USA.

BUTLER, J.D., 1965: Thatch a problem in turf management. III. Turf Conf. Proc., 1-3.

CAPPEL, S., W. HENLE und W. CLAUPEIN, 2013 : Schnittgutabfuhr – Mulchen – Mähroboter. Untersuchungen zu Einfluss auf Rasennarbe, Arbeitszeit- und Kostenvergleich. Z. Rasen-Turf-Gazon, (2013), 2, 17-23.

CAZZATO, E., V. ANESSE and A. CORLETO, 2004: Effects of clipping management on some aspects of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) turf. Acta Hort. (2004) 661, 301-307. DOI:10.17660/ActaHortic.2004.661.38.

DFL, 2018. Qualitätssicherung für Stadionrasen – Arbeitsbuch für das Greenkeeping, 3. Auflage, DFL Deutsche Fußball Liga GmbH, Frankfurt/Main.

DIN, 2003: DIN EN 12232, Sportböden – Bestimmung der Filzdicke bei Naturrasen (Deutsche Fassung EN 12232:2003). Beuth-Verlag, Berlin.

DIN, 2007: DIN EN 15301-1, Sportböden – Teil 1: Bestimmung des Drehwiderstandes (Deutsche Fassung EN 15301-1:2007). Beuth-Verlag, Berlin.

DIN, 2018: DIN 18035-4, Sportplätze – Teil 4: Rasenflächen. Beuth-Verlag, Berlin.

GRUBBS, R.A., G.M. HENRY and M.L. CABRERA, 2021: Effects of mowing interval on turfgrass clipping tissue characteristics and soil nitrogen dynamics. Soil Science Society of America Journal (2021), 85:4, 1174-1184.

GROSSI, N., M. FONTANELLI, E. GARRAMONE, A. PERUZZI, M. RAFFAELLI, M. PIRCHIO, L. MARTELLONI, C. FRASCONI, L. CATU-REGGI, M. GAETANI, S. MAGNI, J.S. MCELROY and M. VOLTERRANI, 2016: Autono-

mous Mower Saves Energy and Improves Quality of Tall Fescue Lawn. HortTechnology, (2016), 26(6), 825-830.

HALEY, J., D. WEHNER, T. FERMANIAN and A. TURGEON, 1985: Comparison of conventional and mulching mowers for Kentucky bluegrass maintenance. Hortic. Sci. (1985), 20, 105-107.

HECKMAN, J.R., H. LIU, W. HILL, M. DEMILIA and W.L. ANASTASIA, 2000: Kentucky bluegrass responses to mowing practice and nitrogen fertility management. J. Sust. Agric. (2000), 15, 25-33.

HESSELSØE, K.J., A.F. BORCHERT and T.S. AAMLID, 2022a: ROBO-GOLF: Robotic mowers for better turf quality on golf courses – Preliminary results. International Turfgrass Society Research Journal (2022), 14, 1049-1056.

HESSELSØE, K.J., A.F. BORCHERT, T. PETERSEN, O. HETLAND, L. JØRGENSEN and T.S. AAMLID, 2022b: ROBO-GOLF: Robotic mowers for better turf quality on golf course fairways and semi-roughs, Results from 2021. NIBIO Report, 8(48).

HOLZINGER, B., 2011: Scherfestigkeitsuntersuchungen auf Naturrasen-Sportplätzen. Masterarbeit zu Landschaftsplanung und Landschaftsarchitektur. BOKU Wien.

ILOS, 2020: Automatisierte Rasenpflege auf Golfplätzen -Hinweise für Betreiber von Golfanlagen- Bearbeitung, Rosenbusch, J. Im Auftrag des Deutschen Golf Verbandes e.V., 65205 Wiesbaden.

JOHNSON, B., R. CARROW and R. BURNS, 1987: Bermudagrass Turf Response to Mowing Practices and Fertilizer. Agronomy Journal (1987), 79, 677-680.

KAUER, K., H. RAAVE, T. KÖSTER, R. VIIRALT, M. NOORMETS, I. KERES, T. LAIDNA, A. PAROL and A. SELGE, 2012: The decomposition of turf-grass clippings is fast at high air humidity and moderate temperature. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science, (2012), 62, 224-234. <https://doi.org/10.1080/09064710.2011.602357>

KAUER, K., R. KÖLLI, R. VIIRALT, T. KÖSTER, M. NOORMETS, T. LAIDNA, I. KERES, A. PAROL, T. VARUL and A. SELGE, 2013a : Effect of cut plant residue management and fertilization on the dry-matter yield of swards and on carbon content of soil. Commun. Soil Sci. Plant Anal. (2013), 44, 205-218.

KAUER, K., T. LAIDNA, I. KERES, T. KÖSTER, E. LOIT, M. SHANSKIY, A. PAROL, A. SELGE, R. VIIRALT and H. RAAVE, 2013b: Impact of returned clippings on turfgrass growth as affected by nitrogen fertilizer rate, time of return, and weather conditions, Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science, (2013), 63:7, 579-587. doi:10.1080/09064710.2013.829865

KNOT, P., 2013: Clipping management and its effect on the composition and height of low-input turf. Acta Univ. Agric. Et Silv. Mendel. Brun. (2013), 61, 192.

KOLB, W. und P. MANSOURIE, 1982 : Zur Situation von konventionellen Rasensportplätzen- Versuchsergebnisse aus Veits-

höchheim. Zeitschrift für Vegetationstechnik (1982), 5, 124-131.

KOPP, K.L. and K. GUILLARD, 2002: Clipping management and nitrogen fertilization of turfgrass: growth, nitrogen utilization and quality. *Crop Science* (2002), 42, 1225-1231.

KOPP, K.L. and K. GUILLARD, 2004: Decomposition Rates and Nitrogen Release of Turf Grass Clippings. *Plant Science Presentations and Proceedings* (2004), 3.

KOPP, K.L. and K. GUILLARD, 2009: Quantifying turfgrass-available N from returned clippings using anion-exchange membranes. *Plant Science Articles* (2009), 26. https://opencommons.uconn.edu/plsc_articles/26

LAW, Q.D., J.M. TRAPPE, Y. JIANG, R.F. TURCO and A.J. PATTON, 2017: Turfgrass selection and grass clippings management influence soil carbon and nitrogen dynamics. *Agronomy Journal* (2017), 109, 1719-1725.

LEINAUER, B., D.M. VANLEEUWEN, M. SERENA, M. SCHIAVON and E. SEVOSTIANOVA, 2014: Digital Image Analysis and Spectral Reflectance to Determine Turfgrass Quality. *Agronomy Journal* (2014), 106, 1787-1794.

MANTAS, V.M. and G. XIAN, 2021: Land Surface Temperature Differences Between Natural and Artificial Turf Sports Fields as Estimated from Satellite: Examples from the United States and Europe. 2021 IE-EE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, (2021), 1777-1780. doi:10.1109/IGARSS47720.2021.9554145

MURRAY, J. and F. JUSKA, 1977: Effect of Management Practices on Thatch Accumulation, Turf Quality, and Leaf Spot Damage in Common Kentucky Bluegrass¹. *Agronomy Journal* (1977), 69, 365-369.

PIRCHIO, M., M. FONTANELLI, C. FRASCONI, L. MARTELLONI, M. RAFFAELLI, A. PERUZI, L. CATUREGLI, M. GAETANI, S. MAGNI, M. VOLTERRANI and N. GROSSI, 2018 a: Autonomous Mower vs. Rotary Mower: Effects on Turf Quality and Weed Control in Tall Fescue Lawn. *Agronomy* (2018), 8, 15.

PORNARO, C., A. NOVELLO, M. FIDANZA and S. MACOLINO, 2022: Grasscycling: A Key Practice for Sustainable Turfgrass Management. *Grasses* (2022), 1, 45-52. <https://doi.org/10.3390/grasses1010005>

PRÄMASSING, W., A. FLOSS und M. THIEMHACK, 2022: Auswirkungen des Mähroboter-Einsatzes auf die Rasenqualität eines Sportrasens. *Z. Rasen-Turf-Gazon*, (2022), 4, 83-90.

PRÄMASSING, W., A. FLOSS und M. THIEMHACK, 2023: Auswirkungen auf die Rasenqualität eines Gebrauchsrasens im öffentlichen Grün beim Einsatz von Mährobotern *Z. Rasen-Turf-Gazon*, (2023), 1, 6-11.

RYCHNOVSKÁ, M., 2012: Structure and Functioning of Seminal Meadows; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, (2012).

SCHIAVON, M., C. PORNARO and S. MACOLINO, 2021: Clippings return decreases mineral nitrogen requirements for bermudagrass (*Cynodon* spp.) lawns in Mediterranean Eu-

rope. *Crop Science* (2021), 61, 2916-2925.

SCHMIDT, W., 1980: Narbeneigenschaften von Züchtungen von *Lolium Perenne* unter besonderer Berücksichtigung der Scherfestigkeit. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1980), 3, Juli-September, 105-110.

SKIRDE, W., 1978: Veränderung des Gehalts an organischer Substanz in eingebauten Rasentragschichten. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1978), 1, 15-20.

SKIRDE, W., 1981: Scherfestigkeit von Rasentragschichten – Ergebnisse von Labor- und Freilanduntersuchungen. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1981), 4, 134-140.

SKIRDE, W., 1983: Vergleichende Untersuchungen an Rasensportflächen verschiedener Bauweise. II. Ergebnisse zur Rasendecke sowie Schlußfolgerungen. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1983), 6, 7-16.

SKIRDE, W., 1986: Untersuchungen zur Frage der Rasenfilzbeseitigung oder Rasenfilznutzung. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1986), 9, 99-107.

SKIRDE, W., 1990a: Ergebnisse zur Nährstoff- und Wasserverwertung bei verschiedenen konstruierten Rasenflächen. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1990), 13, 85-92.

SKIRDE, W., 1990b: Versuch zur Förderung der Rasenfilzumsetzung bei einem Golfgrün-Aufbau durch düngende Besamung mit organischen N-Trägern. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1990), 13, 113-117.

STÜRMER-STEPHAN, B. und J. MORHARD, 2019: Rasenfilz – Ergebnisse einer Literaturauswertung. *Z. Rasen-Turf-Gazon* (2019), 1, 3-9.

TOBIAS, S., 1991: Bautechnisch nutzbare Verbundfestigkeit von Boden und Wurzel. *Hochschulschrift, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Dissertation.*

Danksagung

Die Idee zum Projekt RoboFilz, dessen Abschluss vorliegender Bericht darstellt, entstand aus den Reihen der Mitglieder des Fördererkreises Landschafts- und Sportplatzbauliche Forschung e.V. (FLSF). Das Projekt gliederte sich in eine Literaturstudie deren Ergebnisse in der Veröffentlichung, Stürmer-Stephan, B., Morhard, J., 2019. Rasenfilz – Ergebnisse einer Literaturauswertung. *Z. Rasen-Turf-Gazon* (2019), 1, 3-9. mündeten und in einen experimentellen Teil mit Feldversuchen über einen Zeitraum von zwei Jahren. Die Ergebnisse dieses zweiten Teils sind im vorliegenden Abschlussbericht dargestellt. Ohne entsprechende Unterstützung wäre ein solches Projekt nicht möglich gewesen, deshalb danken wir an dieser Stelle namentlich allen Unterstützerinnen und Unterstützern:

Dem Fördererkreis Landschafts- und Sportplatzbauliche Forschung e.V. für den Anstoß, die Finanzierung und die fachliche Begleitung der Untersuchung.

Der Stadt Filderstadt für die Möglichkeit, einen Teil der Versuche auf einem ihrer Sportplätze durchzuführen. Stellvertretend für alle involvierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Stadt Filderstadt, gilt unser Dank besonders Christian Maiwald, der das Projekt von Anfang an stets vorbehaltlos maßgeblich unterstützt und begleitet hat.

Dem Unternehmen Belrobotics (YAMA-BIKO), das die beiden Mähroboter vom Typ Bigmow Connected Line für die gesamte Laufzeit des Projektes kostenlos zu Verfügung gestellt hat.

Dem Unternehmen ECHO Motorgeräte für die Übernahme der Wartung der Geräte nach dem ersten Versuchsjahr.

Besonderer Dank gilt außerdem Frank Hemmerich (ehem. KommTek Intelligente Lösungen e.K.) für die engagierte Begleitung und technische Unterstützung des Projektes.

Sowie meinen Kollegen Matthias Brodbeck und Bastian Stürmer-Stephan, die durch ihre Unterstützung und Mitarbeit maßgeblich zum Gelingen des Projektes beigetragen haben.

Autor:

Dr. Jörg Morhard
 Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Garbenstraße 9
 D-70599 Stuttgart
 E-Mail:
joerg.morhard@uni-hohenheim.de