



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

Fakultät Agrarwissenschaften
Institut für Agrartechnik
FG Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion

FLSF-Forschungsprojekt RoboFilz

Abschlussbericht

Dr. Jörg Morhard

Inhalt des Beitrages

- 1 Einleitung
- 2 Material und Methoden
- 3 Ergebnisse und Diskussion
- 4 Quellen

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 „RoboFilz“ zeigen nach zweijähriger Laufzeit diesbezüglich weder auf einem neu gebauten Sportplatz noch auf einer Rasenversuchsfläche aus Oberboden eine besorgniserregende Entwicklung. Teilweise lagen sogar die Filzstärken der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ über denen der Variante „Mähroboter“, 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 Stollenschgergerät als auch mit einer Flügelsonde bestimmt. Die Werte liegen in einem Bereich, der keine Beeinträchtigung des Spielbetriebs erwarten lässt. Während mit dem Stollenschgergerät 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.

1 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 Untergrunds zu untersuchen. Verglichen wurden Mähroboter vom Typ Bigmow Connected Line, von Belrobotics, gegenüber herkömmlichen Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme. Die Untersuchungen wurden auf einem eigens dafür angelegten Rasenversuchsfeld an der Versuchsstation der Universität Hohenheim, Stuttgart und auf einem neu gebauten kommunalen Sportplatz mit regulärem Spielbetrieb durchgeführt. Die Laufzeit des Projektes betrug 2 Jahre. Die Messungen endeten im November 2022. Die Mähroboter für beide Flächen wurden für die Dauer des Projektes vom Unternehmen Belrobotics (Yamabiko) zu Verfügung gestellt.

2 Material und Methoden

2.1. Versuchsflächen

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

2.1.1. Rasenversuchsfeld Universität Hohenheim

Im Jahr 2019 wurde auf dem Gelände der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim, Stuttgart, eine Rasenfläche 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.



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

Für die Etablierung der Grasnarbe wurden 4 verschiedene Saatgutmischungen mit jeweils zwei Wiederholungen angesät (Abbildung 2). Auf diese Weise sollte sich über die Forschungsfrage 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 Schnitgutaufnahme 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 (s. Anhang).

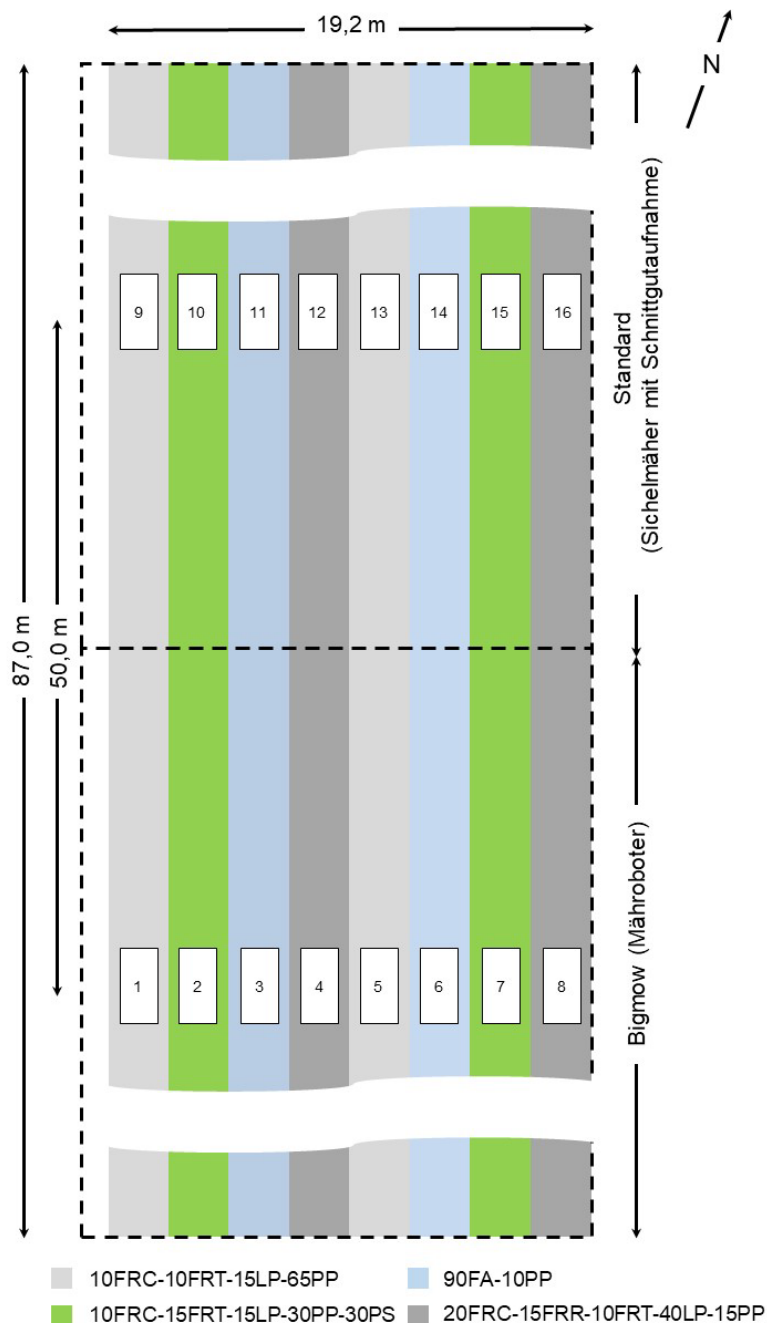


Abbildung 2: Plan des Rasenversuchsfelds in der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim mit den verschiedenen Ansaatmischungen und den 2 x 8 Dauerparzellen für die Messungen. (Legende zeigt Massenprozentage. FA *Festuca arundinacea*, FRC *Festuca rubra commutata*, FRR *Festuca rubra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

Die Messer des Sicheljäherers wurden bei erkennbarer Abnahme der Schnittqualität geschliffen und bei erkennbaren Beschädigungen ausgetauscht. Bei Abnahme der Schnittqualität im Bereich der mahrobotergemahnten Fläche erfolgte ein Klingentausch.

Die Pflegemaßnahmen während der Versuchslaufzeit beschränkten sich auf eine am Bedarf der Fläche orientierte Düngung in Höhe von ca. 15 g N /m²·a. 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).

2.1.2. Rasenspielfeld

Als zweite Versuchsfläche diente ein neu gebauter Fußballplatz mit einer sandreichen Rasentragschicht nach DIN 18035/4 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 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.



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

Für die Versuche wurde das Feld ebenfalls in zwei Halfen geteilt (Abbildung 4). Eine Hälfte wurde konventionell mit einem Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme („Standard“) gemahnt. Das Schnittguts wurde 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 4 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, wenngleich 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 Sicheljähers wurden bei erkennbarer Abnahme der Schnittqualität geschliffen. Bei Abnahme der Schnittqualität im Bereich der mährobotergemähten Fläche erfolgte ein Klingentausch, in der Regel alle 4 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 (s. Anhang).

Die wichtigsten Pflegemaßnahmen waren neben dem Pflanzenschutz, die Düngung sowie mechanischen 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.

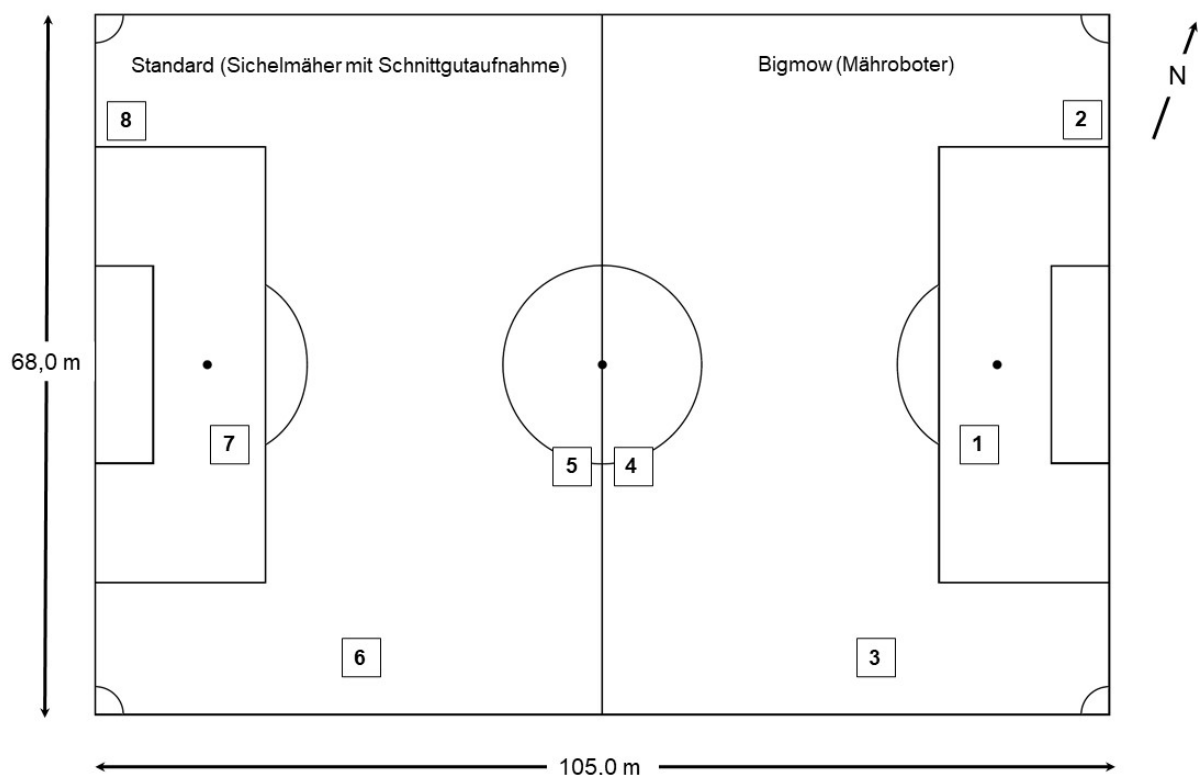


Abbildung 4: Rasenspielfeld (Sportplatz) mit der Position der Dauerquadrate für die Messungen. Die westliche (linke) Hälfte des Platzes wurde mit einem Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme gemäht, die östliche (rechte) Hälfte mit dem Mähroboter (Bigmow) geschnitten.

2.2. 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.

2.2.1. Filzstärke

Die Stärke der Filzschicht wurde in Anlehnung an die Norm EN 12232:2003 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2003) bestimmt. Pro Parzelle wurden mit einem Profilspaten 4 Proben entnommen. Jede Probe wurde an drei Stellen gemessen und daraus der Mittelwert berechnet.

2.2.2. Scherwiderstand - Stollenschergerät

Der Scherwiderstand der Oberfläche wurde mit einem selbstgebauten Stollenschergerät nach EN 15301-1:2007 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 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.

2.2.3. 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 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2018). Abweichend wurde pro Parzelle an 9 statt an 6 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.



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

2.2.4. 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 Beobachtungen 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 Schnittgutaufnahme und Mähroboter (Bigmow) 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 Kulturpflanzenwissenschaften, Dr. U. Thumm) durchgeführt.

Bodenparameter nach Beendigung des Versuchs

Der Boden der beiden mit unterschiedlicher Technik gemähten Hälften des Rasenversuchsfelds in der Versuchsstation Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim wurde im Frühjahr des Folgejahres, 5 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 4 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 (C_{org}), Gesamtstickstoff (Gesamt-N), Nitrat-Stickstoff (NO_3-N), Ammonium-Stickstoff (NH_4-N), Phosphor (P_2O_5) und Kali (K_2O), 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.

2.2.5. 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 $p=0,05$.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1. Filzschicht

Abbildung 6 zeigt die Entwicklung der Filzstärke auf dem Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim, Abbildung 7 die auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz). Betrachtet man die vorliegenden Daten, fallen die meist geringen Unterschiede zwischen den Varianten und an allen Terminen die große Streuung der Einzelwerte innerhalb einer Variante auf. Da die Messungen stets von der gleichen Person durchgeführt wurden, können personenbezogene Einflüsse weitgehend ausgeschlossen werden. Ein weiterer auffälliger Aspekt sind ausgeprägte jahreszeitliche Schwankungen der Filzstärke, die in Hohenheim Ende 2022 sogar fast zu einem Verschwinden des Filzes geführt haben. Die mechanischen Maßnahmen zur Filzreduktion auf dem Sportplatz spiegeln sich jedoch entgegen den Erwartungen nicht unmittelbar in den Ergebnissen der Messungen wider. Eine Ausnahme könnte die Vertikutiermaßnahme vom 31.05.2022 darstellen. Allerdings nahm, zur gleichen Zeit wie auf dem Sportplatz, auch auf dem Rasenversuchsfeld in Hohenheim die Filzstärke ab, obwohl keine Maßnahme zur Filzreduktion durchgeführt wurde.

Im Jahr 2022, dem zweiten Versuchsjahr, folgt die Filzstärke leicht verschoben der zweigipfligen Wachstumskurve der Gräser. Deutlich wird dies vor allem auf dem Sportplatz mit den beiden Maxima der Filzstärke in den Monaten Mai und August.

Die Unterschiede der Filzstärke zwischen den untersuchten Varianten Mähroboter und Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme hingegen war sehr gering. In Hohenheim (Abbildung 6) wurde lediglich an einem Termin (16.07.2021) mit 9,8 mm Filz bei der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ gegenüber 7,5 mm bei der Variante „Mähroboter (Bigmow)“ eine signifikant stärkere Filzschicht festgestellt. Bezogen auf die Mittelwerte tendierte allerdings an 8 von 12 Terminen die Variante „Mähroboter (Bigmow)“ zu einer stärkeren Filzschicht. Im Durchschnitt betrug 2021 beim Mähroboter die Filzstärke 10,0 mm und im Jahr 2022 7,4 mm gegenüber 9,9 mm und 7,1 mm beim Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme. Die geringfügigen größeren Filzstärken beim Mähroboter in Höhe von 0,1 mm im Jahr 2021 bzw. 0,3 mm im Jahr 2022 waren in beiden Fällen nicht signifikant. Bezogen auf beide Versuchsjahre wurde darüber hinaus keine Filzakkumulation beobachtet.

Auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) zeigte die Variante „Mähroboter (Bigmow)“ gegenüber der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ an 11 von 14 Terminen höhere Filzstärken (Abbildung 7). Signifikante Unterschiede blieben jedoch auf zwei Termine beschränkt (11.06.2021 und 18.05.2022). Auffällig ist, dass in den Monaten, in denen diese Messungen erfolgten, die Bodentemperaturen nach dem Winter wieder stark anstiegen (s. Anhang). Im Durchschnitt betrug im Jahr 2021 beim Mähroboter die Filzstärke 12,0 mm und im Jahr 2022 15,4 mm. Beim Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme waren es im selben Zeitraum 11,4 mm und 14,4 mm. Wenngleich statistisch nicht signifikant, wies die Variante „Mähroboter (Bigmow)“ damit in den beiden Jahren durchschnittlich 0,6 mm bzw. 1,0 mm mehr Filz auf verglichen mit der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“.

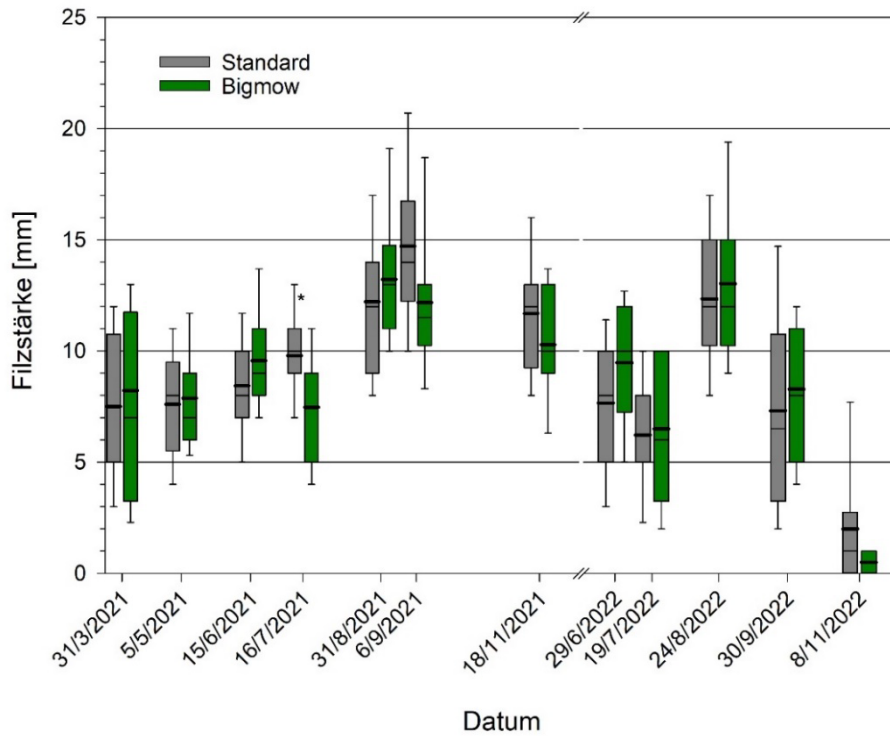


Abbildung 6: Rasenversuchsfeld Universität Hohenheim. Filzstärken in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

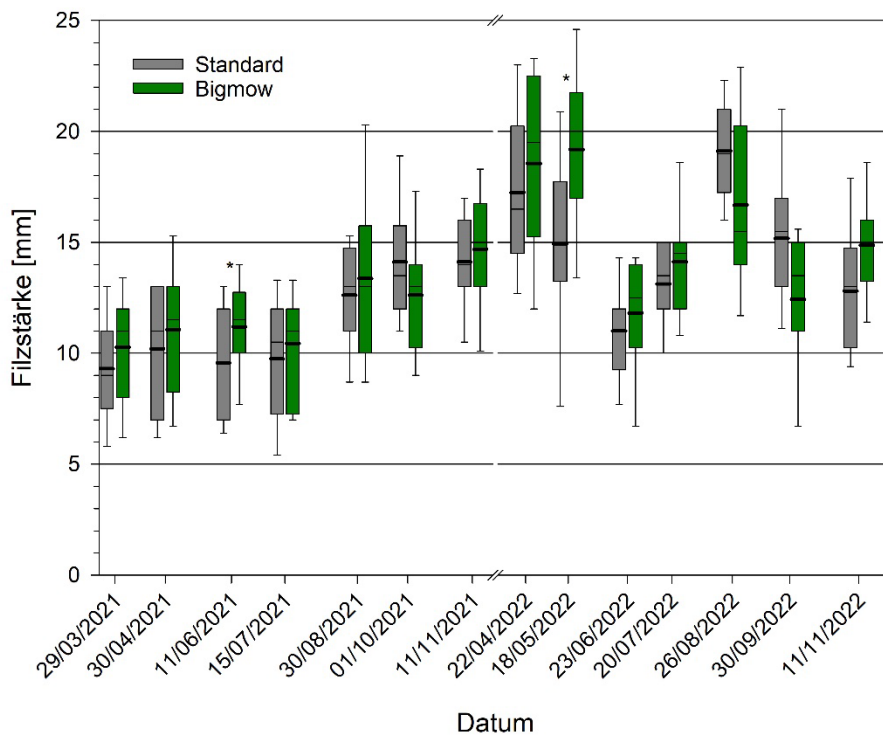


Abbildung 7: Rasenspielfeld (Sportplatz). Filzstärken in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

Bei differenzierter Betrachtung der Parzellen des Sportplatzes fällt außerdem auf, dass die mit dem Mähroboter geschnittenen Parzellen in den eher geringer belasteten Randbereichen des Spielfeldes in beiden Jahren tendenziell zu einer geringfügig höheren Filzstärke neigen (Abbildung 8). Aus den Ergebnissen der stärker belasteten Bereiche entlang der Mittelachse des Spielfeldes lassen sich hingegen keine Unterschiede zwischen den Mähsystemvarianten ableiten.

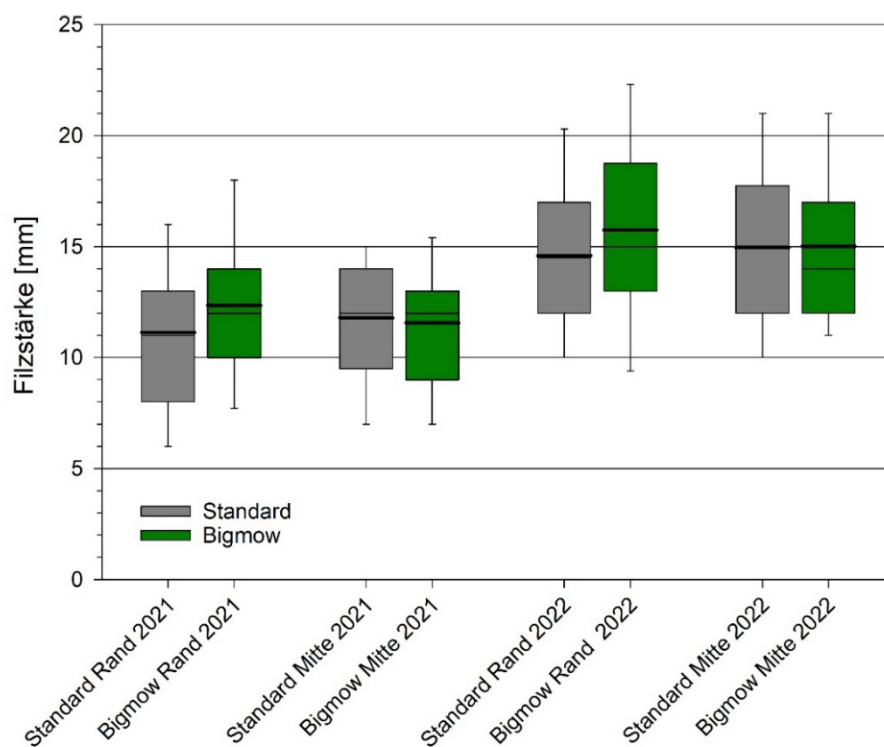


Abbildung 8: Rasenspielfeld (Sportplatz). Filzstärken in Abhängigkeit der Mähsystemvariante und Lage der Parzellen im Spielfeld. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

„Aus biologischer Sicht besteht bei Rasenansaat, die aus funktionellen Gründen ein bestimmtes, insbesondere durch Stickstoffdüngung und Vielschnitt geprägtes Pflegeniveau erfordern, keine Möglichkeit, Rasenfilzbildung zu verhindern“ (SKIRDE, 1986). Dies wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sowohl auf dem Rasenversuchsfeld der Universität Hohenheim als auch auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) beobachtet.

Grundsätzlich kann eine begrenzte Menge Filz allerdings erwünscht sein, da sie extreme Bodentemperaturen puffert, den Wasserverlust aus dem Boden reduziert, das Eindringen von Unkraut verringert und die Verschleißtoleranz erhöht. Wenn die Filzdicke jedoch 20 mm überschreitet, steigt das Risiko einer Beschädigung des Rasen, so dass Maßnahmen zur Filzreduktion ergriffen werden müssen (BEARD, 1973, BUTLER, 1965 in MURRAY und JUSKA, 1977).

Inwieweit im Rahmen der durchgeführten Untersuchung, auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) mechanische Maßnahmen zur Filzkontrolle einen Einfluss auf die Verringerung der

Schichtstärke des Filzes hatten, muss offenbleiben, da auf dem Rasenversuchsfeld in Hohenheim ohne dergleichen Maßnahmen zum selben Zeitpunkt ebenfalls ein Rückgang der Filzstärke beobachtet wurde. Allerdings zeigten MURRAY und JUSKA (1977) und SKIRDE (1986), dass Vertikutieren sehr wohl zu einer Verringerung der Rasenfilzdicke als auch zu einer Reduktion der Rasenfilzmenge beiträgt, wenngleich mit begrenzter Wirkung. Der Einfluss des Vertikutierens auf die Rasenfilzdicke und -menge ist allerdings nicht sehr groß, wenn diese Maßnahme nur ein- oder zweimal pro Jahr durchgeführt wird (SKIRDE, 1986). Ein Besanden hingegen zeigt mittelfristig einen größeren Einfluss auf die Rasenfilzumsetzung (SKIRDE, 1986). Besanden wird häufig mit Aerifiziermaßnahmen kombiniert. MURRAY und JUSKA (1977) zeigten, dass bei aerifizierten Rasenflächen auf der Fläche verbleibendes Schnittgut den Filz nicht vermehrt. Aerifizieren führte dabei zu der geringsten Menge an Filz, gefolgt von Vertikutieren. Auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) wurde im vorliegenden Fall nach den Besandungsmaßnahmen in Kombination mit Tiefenlockern keine unmittelbare Verringerung der Filzstärke beobachtet. Dies war bei der Verwendung von Vollmeißeln zur Tiefenlockerung auch nicht zu erwarten. Bei der Besandungsmaßnahme hingegen ist mit einer mittelfristigen Wirkung zu rechnen, die sich nicht unmittelbar aus den Messungen ablesen lässt.

Sowohl auf dem Rasenversuchsfeld in Hohenheim als auch auf dem Rasenspielfeld lagen im Untersuchungszeitraum an allen Terminen die Mittelwerte der Filzstärke unter dem von BEARD (1973) als kritisch angesehenen Wert von 20 mm. Allerdings ging die Streuung der Einzelwerte an manchen Terminen darüber hinaus. Beide Flächen zeigten trotz ihres geringen Alters bereits zu Beginn der Versuche eine ausgeprägte Filzschicht. Für Neuanlagen wurde diese Tatsache bereits von SKIRDE (1978) beschrieben. Bereits ab dem Zeitpunkt der Fertigstellung einer Rasenfläche kann somit unter Umständen eine beträchtliche Filzakkumulation beobachtet werden, während sich der Gehalt an organischer Substanz in der Rasentragschicht über mehrere Jahre meist nur langsam verändert. Betrachtet man die Dynamik des Rasenfilzes, so ist in den ersten Jahren eines neuen Rasenspielfeldes der dominierende Prozess fast ausschließlich der Filzaufbau. Erst später beginnt eine „boden-nahe“ Zersetzung, die von einer „bodenfernen“ Filzneubildung begleitet wird. Beide Prozesse hängen maßgeblich von der Düngeintensität, aber auch von der Witterung ab (SKIRDE, 1983, SKIRDE, 1990b).

Die deutlichen Schwankungen der Filzstärke auf dem Rasenversuchsfeld der Universität Hohenheim als auch auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) während beider Vegetationsperioden weisen auf einen großen Einfluss der Witterung hin. Dies kann in unmittelbarem Zusammenhang mit unterschiedlichen Wachstumsbedingungen und unterschiedlicher Mikroorganismenaktivität gebracht werden (SKIRDE, 1983). Stark schwankende Filzstärken im Rahmen der Messungen des vorliegenden Projektes können somit sowohl auf Phasen wechselnder Biomasseproduktion als auch mit unterschiedlicher biologischer Aktivität und damit auf wechselnde Verhältnisse des mikrobiellen Schnittgutabbaus zurückgeführt werden.

Das ausschließlich aus Oberboden bestehende Rasenversuchsfeld in Hohenheim, zeigte verglichen mit dem Sportplatz während des gesamten Beobachtungszeitraums niedrigere Filzstärken. Die Rasenfilzdicke ist jedoch grundsätzlich bei Rasentragschichten mit Oberboden weniger stark ausgeprägt (SKIRDE, 1990a).

Die Unterschiede der Filzstärke zwischen den untersuchten Varianten „Mähroboter“ und „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ hingegen war sehr gering. Die geringen, selten signifikanten und teilweise sogar widersprüchlichen Ergebnisse in Bezug auf den Einfluss des Mähsystems auf die Filzbildung zeigen die Vielschichtigkeit dieses Phänomens. In der Vergangenheit wurde beobachtet, dass umfangreiche Schnittgutreste, die auf gemähten Flächen zurückbleiben, erheblich zur Filzakkumulation beitragen können. Wenn das Schnittgut entfernt wird, ist die Filzakkumulation geringer (MURRAY und JUSKA, 1977). CAZZATO et al. (2004) erfassten im Rahmen eines Feldversuchs, Ende des zweiten Jahres, bei regelmäßigem Entfernen des Schnittguts eine Filzstärke von 21 mm, gegenüber 24 mm wenn das Schnittgut auf der Fläche verblieb bzw. wieder zurückgeführt wurde. Dies widerspricht den Beobachtungen von BEARD (1976), HALEY et al. (1985) und JOHNSON et al. (1987), die zeigen, dass die Filzakkumulation durch die Rückführung von Schnittgut in die Grasnarbe nicht erhöht wird. In diesem Zusammenhang besitzt die Schnitthäufigkeit jedoch eine große Bedeutung. HALEY et al. (1985) zeigten einen direkten Zusammenhang zwischen Rasenfilzstärke und Schnitthäufigkeit. Beim Einsatz eines Mulchmähers wurde weniger Rasenfilz gefunden als bei einem herkömmlichen Sichelmäher mit Rückführung des Schnittguts. Die Autoren vermuten, dass die Zersetzung größerer Schnittgutmengen auf einem nur alle zwei Wochen gemähten Rasen möglicherweise dadurch verlangsamt wurde, dass die Gewebeoberfläche für mikrobielle Angriffe kleiner war. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse von KAUER et al. (2012) darauf hin, dass junge Blattmasse für eine schnelle Zersetzung von Schnittgut von entscheidender Bedeutung ist.

Grundsätzlich kann jedoch von einer schnellen Zersetzung von Schnittgut ausgegangen werden, wie KOPP und GUILLARD (2004) zeigten. Voraussetzung für den raschen Abbau bodennaher organischer Substanz ist dabei jedoch ein enges C/N Verhältnis. Rasenfilz weist im Vergleich zur Blattmasse des Schnittguts ein weites C/N-Verhältnis auf und besitzt darüber hinaus, einen hohen Ligningehalt, weshalb er, wenn er bereits entstanden ist, stabiler ist als Schnittgut, das hauptsächlich aus leichter abbaubarer Zellulose besteht. Bei Rasenfilz beträgt das C/N-Verhältnis ca. 20:1 bei Schnittgut hingegen ca. 10:1. Diese Werte können für den Bereich des Intensivrasens als generell gültig angesehen werden. Das C/N-Verhältnis im Rasenfilz lässt sich dabei in der Praxis nahezu ausschließlich durch den N-Gehalt beeinflussen (SKIRDE, 1986).

Für den Abbau von Schnittgut im Rasen ist Bodenkontakt unerlässlich. Das kann entweder durch Technik erreicht werden, die das Schnittgut aktiv in Richtung Boden befördert oder durch den Einsatz von Mährobotern, die Schnittgut produzieren, das klein genug ist, um von selbst in die Grasnarbe zu fallen, um anschließend zersetzt zu werden (PORNARO et al., 2022).

Der Grasnarbe zugeführtes Schnittgut durchläuft einen Abbauprozess, der maßgeblich von den Faktoren Temperatur und Feuchtigkeit beeinflusst wird (RYCHNOVSKÁ, 2012 in PORNARO et al., 2022). Geringere Zersetzungsraten treten bei heißem und trockenem Wetter sowie bei kühlerem Wetter (Temperaturen nahe 0 °C) auf. Sobald jedoch wieder eine günstige Witterung vorliegt, tritt eine Kompensation ein (KAUER et al., 2012). Dies kann sich auch in der Düngeleistung des der Grasnarbe zugeführten Schnittguts widerspiegeln. KAUER et al. (2013b) zeigten, dass bei einem N-Düngeniveau von 24 g / m² die Düngeleistung hauptsächlich von der Menge des Schnittguts in den Monaten Mai und Juni

sowie von den Niederschlägen im Mai abhängt. Die jährliche Düngeleistung der N-Rückführung des auf der Fläche verbleibende Schnittguts (bei gleichem N-Düngeniveau) ist dabei hauptsächlich mit den Niederschlägen im Mai und Juni sowie den Durchschnittstemperaturen im Juli verbunden. Die Filzakkumulation bei Schichtaufbauten wie sie heute unter Verwendung sandreicher Rasentragschichten im Sportplatzbau üblich sind, aber auch die Filzakkumulation, die bei Trockenheit beobachtet wird, führt SKIRDE (1978) auf ungünstige Mineralisationsbedingungen, insbesondere durch geringe Regenwurmaktivität, zurück. Der Effekt der biologischen Aktivität einer Rasentragschicht ist somit an entsprechende Temperatur- und Feuchteverhältnisse gebunden SKIRDE (1983).

Die Ergebnisse, die in Abbildung 8 dargestellt sind, deuten auf einen Einfluss der Belastung auf die Stärke der Filzschicht hin. Allerdings verringern Kompressionseffekte durch Stollenbelastung nur die Filzdicke, während die Trockenmasse (TM) des Rasenfilzes wenig beeinflusst wird (SKIRDE 1983). Dennoch darf der Effekt durch den Spielbetrieb, bzw. ganzjähriger Stollenbelastung nicht unterschätzt werden, da SKIRDE, (1986) in der mechanische Verletzung des Filzes eine Grundvoraussetzung für eine Einleitung bzw. Förderung des Rasenfilzabbaus sieht. Somit stehen sowohl die Rasenfilzbildung als auch die Zersetzung des Filzes nicht nur mit dem Beginn, sondern auch mit der Intensität der Benutzung eines Rasenspielfeldes, in Verbindung SKIRDE (1983). Hier sei die zusätzliche Belastung durch American Football auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) ab der zweiten Vegetationsperiode (2022) erwähnt.

3.2. Scherwiderstand gemessen mit Stollenschgergerät

Die Werte des Scherwiderstandes der unterschiedlich gemähten Flächen lagen auf beiden Versuchsstandorten nah beieinander. Unabhängig von der Mähsystemvariante waren ebenfalls auf beiden Standorten die Mittelwerte des Beobachtungszeitraums 2021 größer als die des Beobachtungszeitraums 2022.

In Hohenheim zeigte die Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ an drei Terminen (06.09.2021, 18.11.2021 und 30.09.2022), die Variante „Mähroboter (Bigmow)“ an einem Termin (25.05.2022) signifikant höhere Scherwiderstandswerte (Abbildung 9). Der Trend, stets etwas höherer Werte bei der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ im Vergleich zu den durch den Mähroboter geschnittenen Flächen, der noch im ersten Versuchsjahr 2021 mit 66,3 Nm gegenüber 62,7 Nm zu beobachten war, wurde bei Betrachtung des gesamten Versuchszeitraums auf der Versuchsfläche in Hohenheim nicht bestätigt. Auch wenn im Versuchszeitraum des Jahres 2022 die Werte immer noch geringfügig, um durchschnittlich 0,4 Nm, höher lagen.

Auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) hingegen ließ sich dieser Trend noch bis Ende August des zweiten Versuchsjahres verfolgen (Abbildung 10). An drei Terminen (30.04.2021, 22.04.2022 und 23.06.2022) waren in diesem Zeitraum die Unterschiede signifikant. Es fällt auf, dass die Werte im zweiten Versuchsjahr bei beiden Mähsystemvarianten niedriger lagen. Die Betrachtung der Mittelwerte der beiden Beobachtungszeiträume verdeutlicht diese Trends. So wurden auf dem Sportplatz 2021 beim Schnitt mit Mähroboter 69,7 Nm und bei der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ 75,1 Nm gemessen. Im Jahr

2022 betrug der Mittelwert über den Beobachtungszeitraum in der Variante „Mähroboter (Bigmow)“ 63,4 Nm gegenüber 66,4 Nm beim Sichelmäher mit Schnitgutaufnahme (Standard).

Die gemessenen Werte befinden sich insgesamt auf einem höheren Niveau als die Werte zwischen 40 Nm und 60 Nm, die HOLZINGER (2011) auf verschiedenen Rasenspielfeldern in Süddeutschland, einschließlich der Mercedes Benz Arena, gemessen hat. Die Lage der Messparzellen und damit die angenommenen Unterschiede durch die Belastung des Spielbetriebs hatte auf dem Rasenspielfeld keinen Einfluss auf den mit dem Stollenschergerät gemessenen Scherwiderstand (Abbildung 11). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von HOLZINGER (2011) bezogen auf intensiv gepflegte Rasenspielfelder. Bei der Messung der Scherfestigkeit mit einem Stollenschergerät wird allerdings stets das Zusammenwirken von Rasennarbe, oberflächennaher Bewurzelung und bestehenden Bodenverhältnissen erfasst. Bei einer lockeren Grasnarbe steigt der Einfluss des Faktors Boden auf die Scherfestigkeit. Rasenfilz reduziert den Einfluss des Bodens am Gesamtkomplex Scherfestigkeit (SCHMIDT, 1980). Einen Zusammenhang zwischen Rasenfilz und Scherwiderstand zeigen die vorliegenden Ergebnisse jedoch nicht.

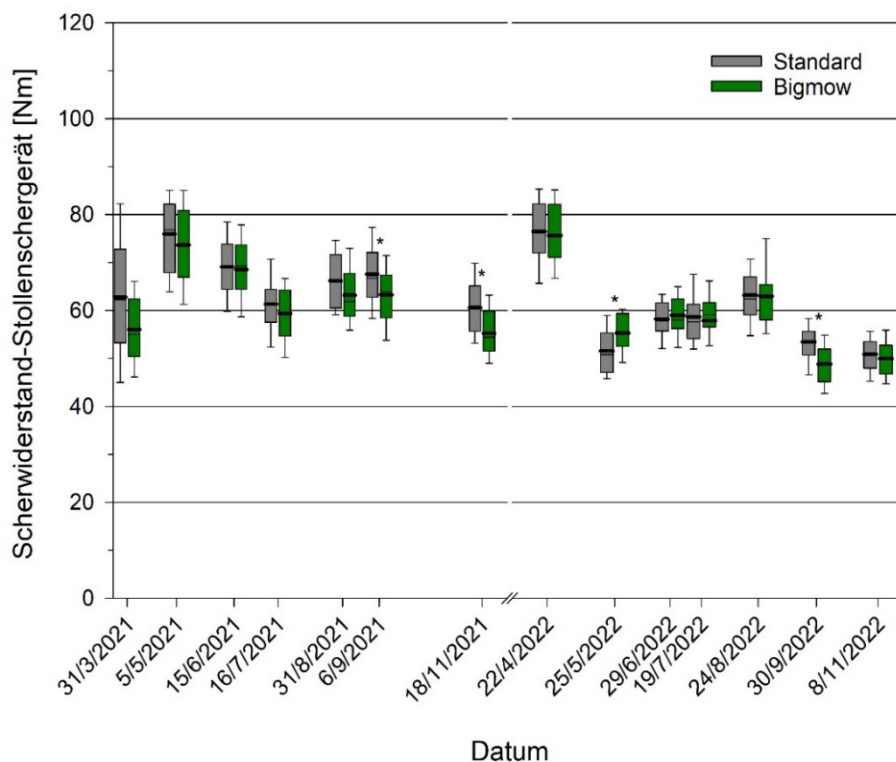


Abbildung 9: Rasenversuchsfeld Universität Hohenheim. Scherwiderstand, gemessen mit Stollenschergerät, in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnitgutaufnahme (Standard).

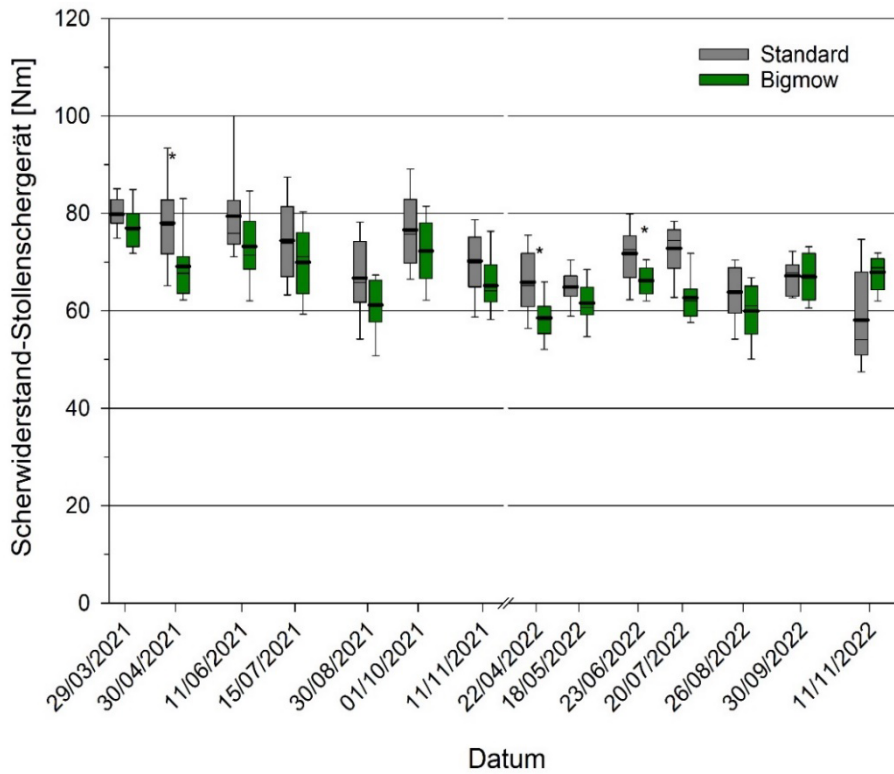


Abbildung 10: Rasenspielfeld (Sportplatz). Scherwiderstand, gemessen mit Stollenschergerät, in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

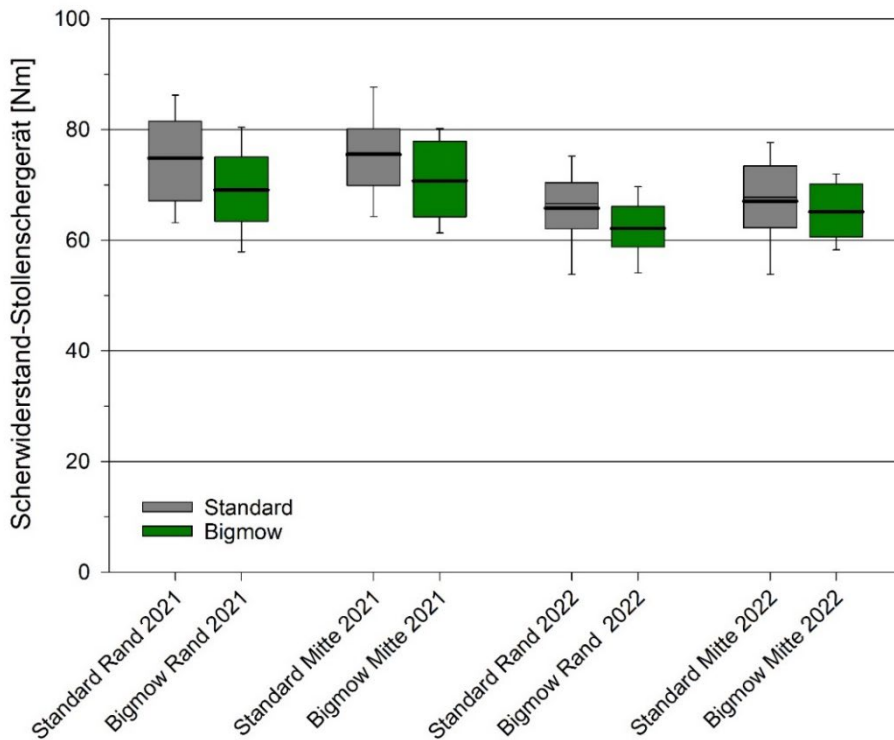


Abbildung 11: Rasenspielfeld (Sportplatz). Scherwiderstand, gemessen mit Stollenschergerät, Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

3.3. Scherwiderstand gemessen mit Flügelsonde

An den meisten Terminen lagen bei diesem Messverfahren die gemessenen Werte der Mäh-systemvariante „Mähroboter (Bigmow)“ über denen der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“.

Auf dem Rasenversuchsfeld in Hohenheim konnten allerdings nur an zwei Terminen (06.09.2021 und 25.05.2022) signifikante Unterschiede nachgewiesen werden, wovon am 25.05.2022 allerdings die Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ einen sehr viel höheren Werte zeigte (Abbildung 12). Die überdurchschnittlich große Differenz zum Wert der Variante „Mähroboter (Bigmow)“ und die extreme Streuung schließen allerdings die Möglichkeit eines Messfehlers an diesem Termin nicht aus. Durchschnittlich erreichten die mährobotergeschnittenen Flächen während des Versuchszeitraums 2021 einen Scherwiderstand von 76,1 kPa, die der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ 71,6 kPa. Im Rahmen der Messungen des Jahres 2022 erreichte die Variante „Mähroboter (Bigmow)“ durchschnittlich 66,9 kPa. Auf den Flächen, die mit Sichelmäher und Schnittgutaufnahme gemäht wurden, betrug das arithmetische Mittel 71,4 kPa. Die anfängliche Tendenz zu höheren Werten bei der Mäh-systemvariante „Mähroboter (Bigmow)“ hat sich im zweiten Jahr somit nicht bestätigt. Allerdings ist bei der Berechnung der mutmaßlich zu hohe Wert vom Mai mitberücksichtigt.

Auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) war der Trend meist höherer Scherwiderstandswerte (Flügelsonde) bei der Mährobotervariante sichtbar (Abbildung 13). Signifikante Unterschiede wurden jedoch nur am ersten Termin (29.03.2021) des ersten und am letzten Termin (11.11.2022) des zweiten Messzeitraums nachgewiesen. Durchschnittlich betrug während des Messzeitraums 2021 der Scherwiderstand 79,0 kPa auf den mährobotergeschnittenen Parzellen gegenüber 74,6 kPa beim Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme. Damit zeigten die mährobotergeschnittenen Parzellen 2021 durchschnittlich 4,4 kPa höhere Werte. Während des Messzeitraums 2022 war die Differenz kleiner, wenngleich mit 63,7 kPa gegenüber 62,0 kPa der Mähroboter mit einer Differenz von 1,7 kPa immer noch den höheren Durchschnittswert aufwies.

An beiden Versuchsstandorten nahm der Scherwiderstand beider Mäh-systemvarianten in der zweiten Jahreshälfte stark ab. Da die Flügel der Sonde tiefer in den Boden eindringen als die Stollen des Stollenschergerätes, bilden die Ergebnisse nicht nur den Einfluss der Filzschicht, sondern in starkem Maß den des darunter liegenden Bodens, einschließlich der Wurzeln und Rhizome der Gräser ab. Außerdem ist damit die Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt der Rasentragschicht höher als beim Stollenschergerät.

Der Scherwiderstand ist ein wichtiger Faktor für die Belastbarkeit von Rasenflächen für Sportarten wie Fußball. Er hängt hauptsächlich von der Pflanzendecke, aber auch von Bodenparametern ab (TOBIAS, 1991). Es ist anzunehmen, dass er oberflächennah durch Rasenfilz negativ beeinflusst wird (SCHMIDT, 1980). Einen Zusammenhang zwischen Rasenfilz und Scherwiderstand zeigen die vorliegenden Ergebnisse jedoch weder bei der Messung mit dem Stollenschergerät noch bei der Messung mit der GEONOR-Flügelsonde. Ursächlich sind die geringen Unterschiede der Filzstärke zwischen den Varianten zu sehen, die insbesondere bei der Messung mit der GEONOR-Flügelsonde von Faktoren wie dem Bodenwassergehalt überlagert werden.

Der Vorteil dieser Methode besteht jedoch in der Möglichkeit einer hohen Anzahl an Messungen bei relativ geringem Zeitaufwand. Resultierend aus verschiedenen Untersuchungsreihen mit der GEONOR-Flügelsonde in 5-10 cm Tiefe, leitete SKIRDE (1981) für Sportplätze im Spielbetrieb Mindestwerte für scherfeste Rasentragschichten in Höhe von $>0,70/0,75 \text{ kg/cm}^2$ (umgerechnet ca. 70 kPa) ab. In „Qualitätssicherung für Stadionrasen-Arbeitsbuch für das Greenkeeping“ werden Werte $\geq 60 \text{ kPa}$ (vergleichbare Bodenfeuchte / mit Haftwasser besetzter Porenraum) gefordert (DFL, 2018).

Die Publikationen und die vorliegenden Werte zeigen, dass die Scherfestigkeit unter Freilandbedingungen, zahlreichen Einflussfaktoren unterliegt. Dazu gehören hauptsächlich der Prüfwassergehalt, die Einbauverdichtung (während der Erstellung des Rasenspielfeldes) und die aktuelle Benutzungsintensität. Untersuchungsergebnisse müssen deshalb grundsätzlich kritisch betrachtet werden (SKIRDE, 1981). Deshalb lassen sich die hier dargestellten Werte nicht unmittelbar miteinander vergleichen, da sie den tatsächlichen Zustand des Platzes zum Zeitpunkt der Messungen einschließlich unterschiedlicher Bodenwassergehalte widerspiegeln. Allerdings besitzen sie in dieser Form eine höhere Relevanz für den Spielbetrieb, wengleich es sich um Momentaufnahmen handelt.

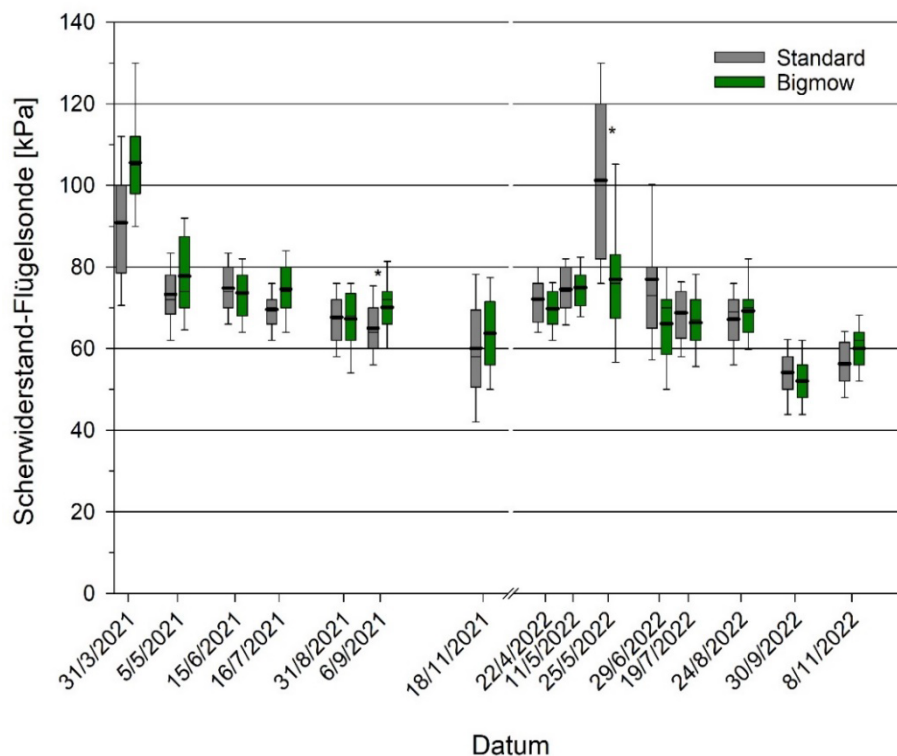


Abbildung 12: Scherwiderstand, gemessen mit Flügelsonde, auf dem Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

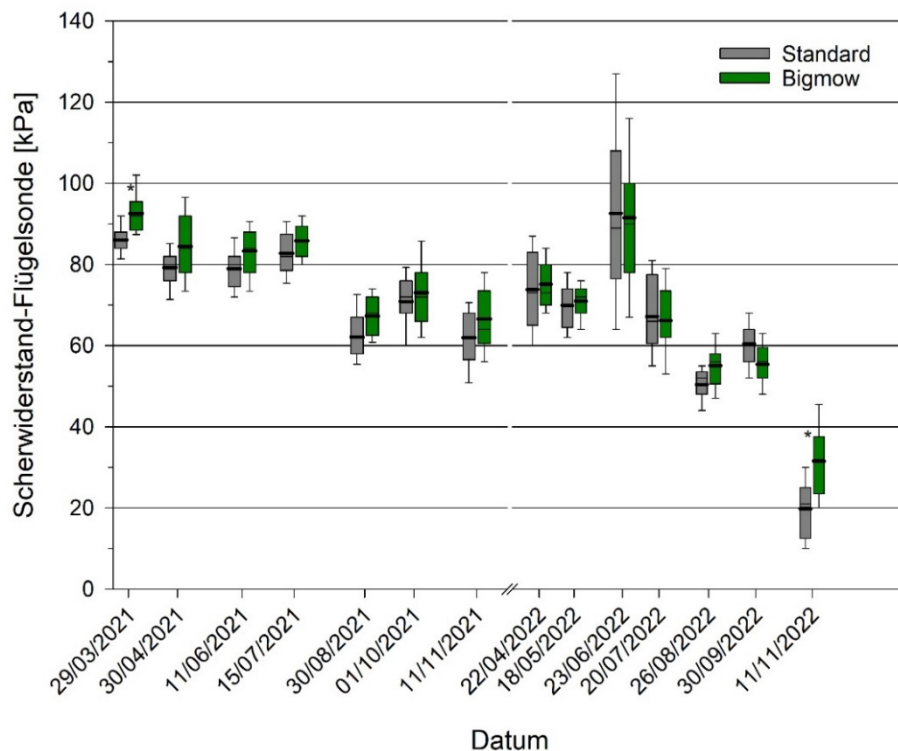


Abbildung 13: Scherwiderstand, gemessen mit Flügelsonde, auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

Die im November auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) mit 31,5 kPa (Mähroboter) bzw. 19,8 kPa (Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme) beobachtete deutliche Unterschreitung des im Arbeitsbuch für das Greenkeeping geforderten Wertes von ≥ 60 kPa (DFL, 2018), (Abbildung 13), ist beispielsweise sicher auf den zu diesem Zeitpunkt gemessenen hohen Bodenwassergehalt von durchschnittlich 54 Vol.-% zurückzuführen (s. Anhang). Als alleinige Erklärung für den Rückgang des Scherwiderstandes in der zweiten Jahreshälfte ist der Bodenwassergehalt jedoch nicht geeignet.

Bei nach Lage der Parzellen auf dem Rasenspielfeld differenzierter Betrachtung (Abbildung 14) fällt auf, dass diese 2021 bei allen und 2022 bei den geringer belasteten Randparzellen keinen Einfluss auf das Verhältnis der Mähsystemvarianten zueinander besitzt. Auch die absoluten Werte des mit der Flügelsonde gemessenen Scherwiderstandes unterscheiden sich kaum. Die Werte entlang der Mittelachse weichen 2022 allerdings davon ab. Sie sind erkennbar höher als die Werte der Randparzellen. Außerdem unterscheiden sich die Mittelwerte der Mähsystemvarianten praktisch nicht mehr.

Eine mögliche Ursache für dieses Verhalten könnten stärkere Verdichtungen in den obersten Zentimetern der Rasentragschicht sein, verursacht durch die höhere Nutzungsintensität des Rasenspielfeldes im Jahr 2022, da ab April 2022 der Spielbetrieb durch American Football erweitert worden war.

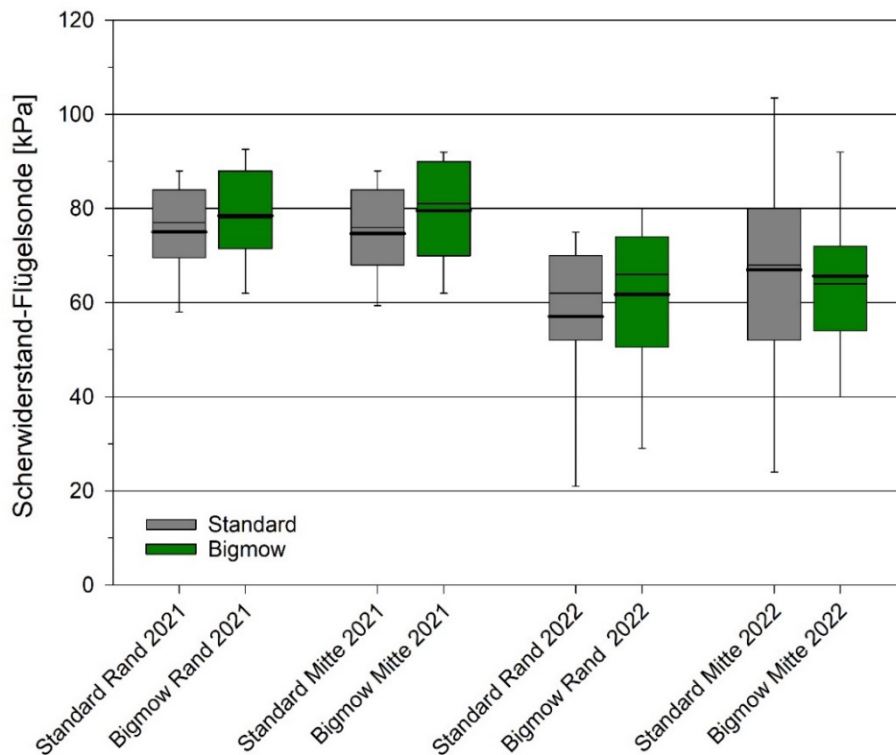


Abbildung 14: Scherwiderstand, gemessen mit Flügelsonde, auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) in Abhängigkeit der Mähsystemvariante. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme (Standard).

3.4. Begleitende Beobachtungen

Qualität der Grasnarbe

Die farbliche Visualisierung des NDVI über das Dashboard von Greenway (by Karuna Technology) zeigte, basierend auf Daten, die im Rahmen der Fernerkundung durch die Sentinel 2 Satelliten erhoben wurden, Unterschiede zwischen den unterschiedlich gemähten Hälften der beiden Versuchsflächen. Sowohl die für die Zeit vom März 2021-Jul. 2022 gebildeten Mittelwerte der Hohenheimer Versuchsfläche als auch die für den Zeitraum April 2021-Nov. 2022 gebildeten Mittelwerte des Rasenspielfeldes (Sportplatzes) zeigen im Dashboard nach der Visualisierung unterschiedliche Farbtöne, die mit den entsprechenden NDVI-Werten korrespondieren (Abbildung 15, Abbildung 17). Die Spanne reicht von rot (niedriger Wert) über gelb zu grün (hoher Wert). Dem Nutzer des Dashboards bleibt eine genaue Skalierung leider verschlossen. Im Zentrum der Bereiche, die vom Mähroboter geschnitten wurden, sind eine dunklere Grünfärbung und damit höhere NDVI-Werte gegenüber dem Zentrum der Bereiche, die mit Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme gemäht wurden zu erkennen. Allerdings fallen bei Betrachtung der Versuchsflächen als Ganzes in den Randbereichen erheblich niedrigere Werte (gelb-rot) auf, die eine Folge der Verrechnung der ursprünglichen Satellitendaten zur Erhöhung der Auflösung darstellen. Dabei werden die NDVI-Werte angrenzender Flächen, z.B. Wege, Laufbahnen, Tribünen und ähnliches mitberücksichtigt.

Im Entwicklermodus des Dashboards ist es möglich die berechneten Mittelwerte der festgelegten Teilflächen für bestimmte Zeiträume herunterzuladen. Abbildung 16 zeigt die Mittelwerte des NDVI der Rasenversuchsfläche in Hohenheim für den Zeitraum März 2021-Jul. 2022. Es fällt auf, dass 2021 der NDVI der mit dem Mähroboter geschnittenen Parzelle häufig deutlich über dem der Parzelle, die mit dem Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme gemäht wurde, liegt. Der Mittelwerte während des genannten Zeitraums betragen 0,71 bei der durch den Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme gemähten Teil während durchschnittlich 0,76 auf der vom Mähroboter geschnittenen Fläche gemessen wurden. Die Unterschiede waren auch zwischen den Versuchszeiträumen, nach Aussetzen des Schnittes während der Wintermonate, noch erkennbar.

Die Umkehr der Beobachtung in den Monaten April/Mai 2022 kann auf Betriebsstörungen des Mähroboters durch einen defekten Bumper zurückgeführt werden. Durch wiederholten Stillstand war der Schnittgutanfall nach Wiederaufnahme der Arbeit höher, so dass zeitweise größere Schnittgutmenen auf der Grasnarbe liegengeblieben sind.

Beim Rasenspielfeld (Sportplatz) waren die Unterschiede der Mittelwerte des NDVI beider Mähsystemvarianten geringer (Abbildung 18) und im Mittel über den dargestellten Zeitraum von April 2021-Nov. 2022 mit einem NDVI von 0,75 sogar gleich. Dies widerspricht der erkennbar intensiveren Grünfärbung in der Visualisierung von Abbildung 17. Allerdings wird der Mittelwert aus allen Werten innerhalb der definierten Flächen gebildet, so dass die niedrigen NDVI-Werte im Randbereich (gelb/rot), die durch das Verrechnen der Satellitendaten entstehen, mitberücksichtigt werden. Sowohl auf der Rasenversuchsfläche in Hohenheim als auch auf dem Sportplatz ist deshalb davon auszugehen, dass die tatsächlichen NDVI-Werte entsprechend höher liegen.

Die Unterschiede zwischen den Mähsystemvarianten auf dem Rasenversuchsfeld in Hohenheim lassen sich möglicherweise durch die geringere Schnitthäufigkeit in der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ gegenüber dem Rasenspielfeld (Sportplatz) zurückführen. Ähnliche Beobachtungen machten PRÄMAßING et al. (2023) auf einer Friedhofsrasenfläche. Die mit einem Mähroboter gemähten Parzellen zeigten bei durchschnittlich drei Mähgängen pro Woche höhere NDVI-Werte bei gleichzeitig gleichwertiger und teilweise signifikant besserer Bewertung des Gesamtaspektes sowie der Narbenfarbe mit homogenerer Grünfärbung. Der herkömmliche Schnitt erfolgte in etwa zweiwöchigen Turnus mit einem Kubota G 26 II. Ob dabei allerdings das Schnittgut auch aufgenommen wurde kann nur vermutet werden. In vorangegangenen Versuchen (PRÄMAßING et al., 2022) wurde hingegen ein Sportplatz mit einem Spindelmäher in 2–3-tägigem Intervall gemäht. Bei genanntem Schnittintervall beobachteten die Autoren bei bodengestützter NDVI-Messung auf dem Rasenspielfeld in den Monaten Juli, August und Oktober signifikant höhere NDVI-Werte in den Bereichen, die mit einem Mähroboter geschnitten wurden gegenüber denen in denen der Spindelmäher eingesetzt wurde. Die Differenz lag dabei in der auf dem Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim beobachteten Größenordnung.

Autonomes Mähen mit hoher Schnittfrequenz erhöht somit die optische Schnitt- und Rasenqualität (PIRCHIO et al., 2018). Für die Rasenqualität ist darüber hinaus die Schnittgutrückführung von großer Bedeutung. Durch sie erfolgt hauptsächlich eine Verbesserung der Rasenfarbe (KAUER et al., 2013a). Das vollständige Entfernen von Schnittgut beim

Mähen hingegen reduziert die Farbintensitäts- und Rasenqualitätswerte im Vergleich zu Behandlungen, bei denen das Schnittgut der Grasnarbe zurückgeführt wurde, CAZZATO et al. (2004). Das Schnittgut in der Grasnarbe steigert die Rasenqualität bei Temperatur- und Feuchtigkeitsstress (MURRAY und JUSKA, 1977). Durch Aufnahme des Schnittguts beim Mähen zeigte sich während Trockenphasen früher Trockenstress als bei der Schnittgut-rückführung durch Mähroboter (CAPPEL et al., 2013).

Die Unterschiede zwischen den Mähsystemvarianten, die sowohl auf dem Rasenversuchsfeld als auch auf dem Rasenspielfeld (Sportplatz) selbst noch nach Aussetzen des Schnittes während der Wintermonate erkennbar waren, decken sich mit den Beobachtungen anderer Autoren. JOHNSON et al. (1987) und SCHIAVON et al. (2021) zeigten, dass zurückgeführtes Schnittgut die visuelle Qualität von Bermudagrass, insbesondere gegen Ende der Vegetationsperiode erhöht. Die Qualität des Rasens wird somit eher durch das Schnittmanagement im Herbst-Winter-Zeitraum als im Frühling-Sommer-Zeitraum beeinflusst (CAZZATO et al., 2004).

Den Ergebnissen der genannten Untersuchungen liegen meist aufwendige Messungen oder subjektive Bonituren zu Grunde. Der Vorteil subjektiver Einschätzungen kommt besonders bei Nutzerbefragungen zur Geltung. Eine Umfrage mit 398 Befragten, durchgeführt auf Golfplätzen in Norwegen, Dänemark und Schweden ergab, dass die Rasenqualität von robotergemähten Parzellen auf Fairways weitgehend der herkömmlich gemähter Kontrollflächen entsprach und bei Semiroughs sogar als besser angesehen wurde (AAMLID et al., 2021). Bei einer Umfrage im Auftrag des Deutschen Golf Verbandes bezeichneten 62 % der befragten Golfspieler die Rasenqualität durch den Schnitt mit Mährobotern auf Fairways und Driving Ranges als besser, 29 % als eher besser und nur 9 % als gleichwertig (ILOS, 2020). Feldversuche am NIBIO Turfgrass Research Center Landvik, Norwegen, sowie Demonstrationsversuche auf Golfplätzen in fünf nordischen Ländern zeigten ebenfalls, dass die Rasenqualität durch Einsatz von Mährobotern mit der Rasenqualität bei herkömmlichem Mähen zumindest vergleichbar ist (HESSELSØE et al., 2022a)

Im vorliegenden Fall wurde der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) zur Bewertung der optischen Qualität der Grasnarbe gewählt. Er weist im Allgemeinen eine gute Korrelation zur Rasenqualität auf und scheint, bezogen auf einen längeren Zeitraum, in der Lage zu sein, Änderungen zuverlässig wiederzugeben (LEINAUER et al., 2014). Darüber hinaus besitzen Indizes, die auf multispektralen Messungen beruhen eine hervorragende Eignung für Fernerkundungsmethoden. Der Vorteil satellitengestützter NDVI-Berechnung liegt außerdem im Zugriff auf umfangreiche Datenarchive. Landsat-Bilder, die mit Google Earth Engine verarbeitet wurden, erwiesen sich beispielsweise als geeignet, um Oberflächentemperaturen vom Sportflächen über längere Zeiträume hinweg darzustellen und sowohl die Forschung als auch die Entscheidungsfindung zu unterstützen (MANTAS und XIAN, 2021). Entsprechende Einschränkungen durch die geringe bildliche Auflösung werden dabei in Kauf genommen. Die ursprüngliche Auflösung der multispektralen Aufnahmen der Sentinel 2 Satelliten von 10 m x 10 m erlaubt allerdings selbst mit dem der Datenaufbereitung durch Karuna Technology zu Grunde liegenden Algorithmus keine randscharfe Darstellung der Daten auf Flächen von der Größe eines Sportplatzes oder kleiner. Für eine präzise georeferenzierte Bestimmung des NDVI sind deshalb boden- oder UAV-gestützte Messungen besser geeignet.



Abbildung 15: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) des Rasenversuchsfelds an der Universität Hohenheim. Mittelwerte des Zeitraums März 2021-Jul.2022. Untere Hälfte zeigt Mähroboter geschnittene Fläche. (Datenaufbereitung und Visualisierung: Greenway by Karuna Technology). Skalierung nicht bekannt.

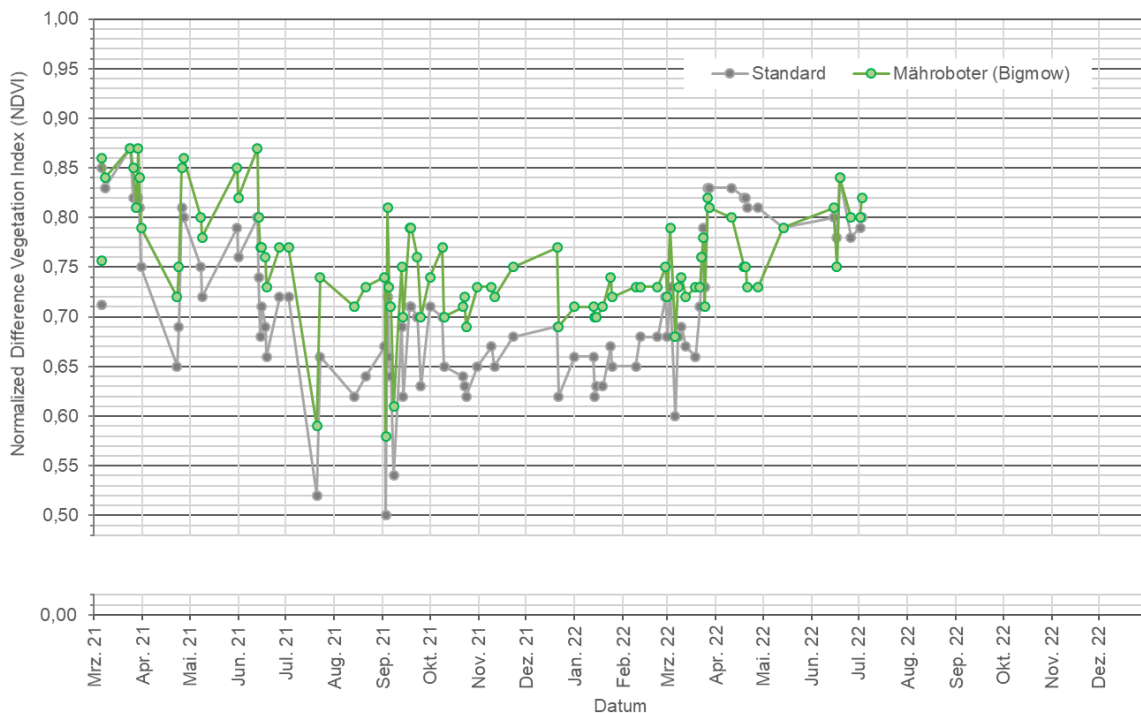


Abbildung 16: Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim. Mittelwerte des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) der jeweiligen Hälften (Mähsystemvarianten). Zeitpunkte durch Werte der Sentinel-2 Satelliten gegeben (Daten: Greenway by Karuna Technology).

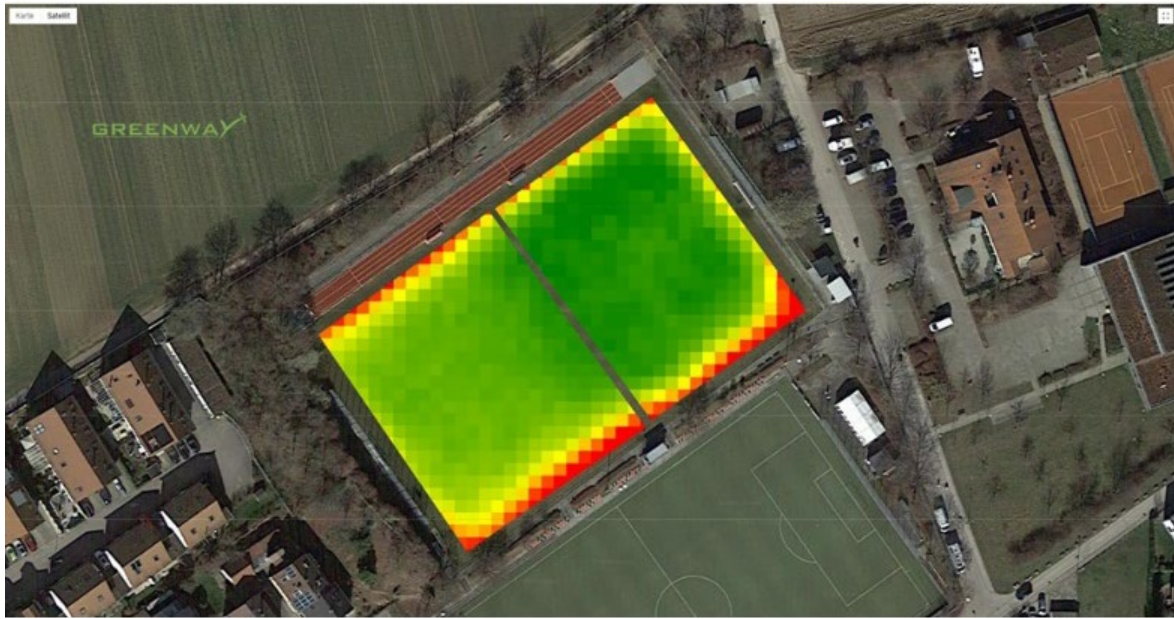


Abbildung 17: Rasenspielfeld (Sportplatz). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Mittelwerte des Zeitraums April 2021-Nov.2022. Rechte Hälfte zeigt Mähroboter geschnittene Fläche. (Datenaufbereitung und Visualisierung: Greenway by Karuna Technology). Skalierung nicht bekannt.

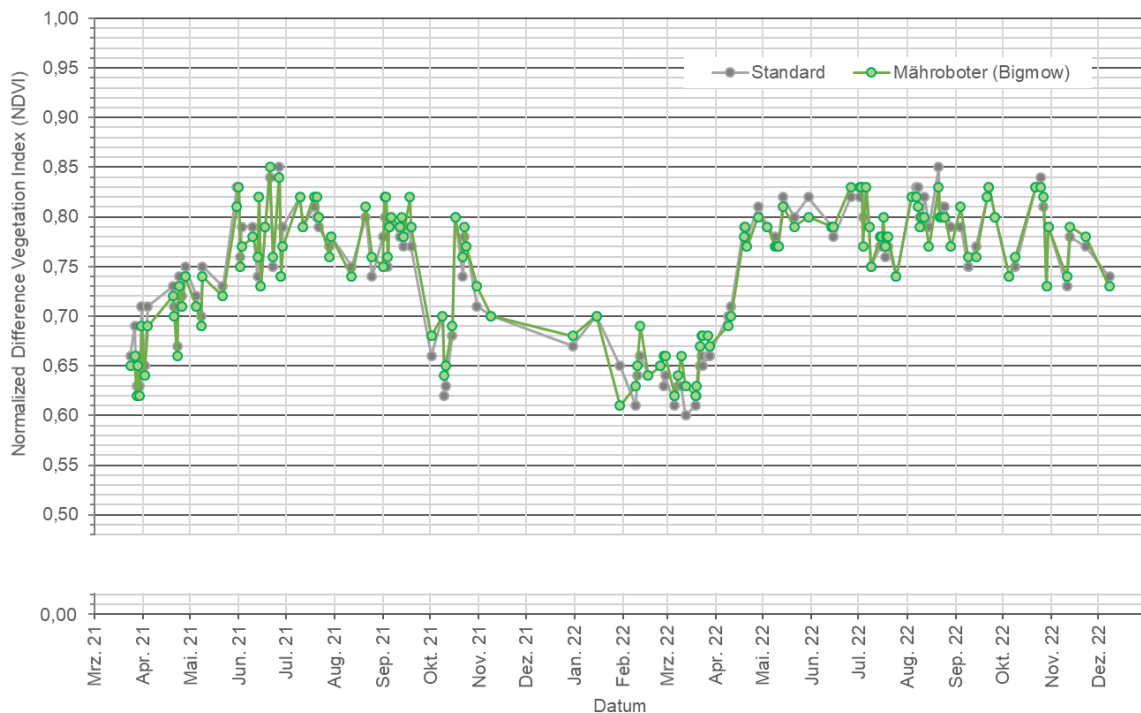


Abbildung 18: Rasenspielfeld (Sportplatz). Mittelwerte des Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) der jeweiligen Spielfeldhälften (Mähsystemvarianten). Zeitpunkte durch Werte der Sentinel-2 Satelliten gegeben (Daten: Greenway by Karuna Technology).

Veränderung der Artenzusammensetzung der Ansaaten

Zu den weiteren Beobachtungen, die in Abhängigkeit der Mähsystemvariante während der Versuchslaufzeit gemacht wurden, gehört eine Veränderung der Artenzusammensetzung der Grasnarbe auf dem Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim. Deshalb wurde im Juni 2022 der Deckungsgrad der einzelnen Arten innerhalb der unterschiedlichen Ansaaten und innerhalb der definierten Messbereiche erfasst. Auf Grund der Momentaufnahme lässt sich mit Ausnahme der eingewanderten unerwünschten Arten keine Entwicklung wohl aber ein Vergleich zwischen den unterschiedlich gemähten Bereichen darstellen. Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Arten. Der Deckungsgrad von *Festuca rubra* war in den mit dem Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme gemähten Bereichen um mehr als das Vierfache höher als beim Mähroboter. *Lolium perenne* und *Poa supina* hingegen wiesen in den vom Mähroboter geschnittenen Bereichen einen etwa doppelt so hohen Deckungsgrad auf wie unter dem Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme. *Poa pratensis*, die in den Ansaatmischungen als Mischungspartner vorhanden war, fehlte bei dieser Mähsystemvariante beinahe vollständig. Von den eingewanderten unerwünschten Arten erreichten *Poa trivialis*, *Poa annua* und *Trifolium repens* nennenswerte Deckungsgradanteile. *Poa trivialis* trat abgesehen von einzelnen Pflanzen mit gut 7 % ausschließlich in den vom Mähroboter gemähten Bereichen auf. *Trifolium repens* erreichte hier den 1,7-fachen Deckungsgrad gegenüber den Bereichen, die mit Sichelmäher und Schnittgutaufnahme gemäht wurden.

HESSLSØE et al. (2022a) beobachteten bei Mähroboter-geschnittenem Semirough ebenfalls eine stärkere Verunkrautung durch Weißklee als bei herkömmlichem Mähen mit Sichelmäher. Auf dem Fairway (Spindelmäher vs. Mähroboter) trat diese Entwicklung jedoch nicht auf (HESSLSØE et al., 2022b). Art und Menge des Anfallenden Schnittguts scheinen einen großen Einfluss zu besitzen. KNOT (2013) zeigte, dass bei Extensivrasen, bestehend aus einer Klee-Gras-Mischung (5 Schnitte/a), die Rückführung von Schnittgut durch Mulchen langfristig zu einer signifikanten Veränderung der botanische Zusammensetzung führte. Der Kleeanteil der gemähten Variante war mit 36,6 % deutlich höher als bei der gemulchten Variante mit 21,3 %. PIRCHIO et al. (2018) führen dies auf optimale Lichtverhältnisse für die genannten Arten durch den regelmäßigen Schnitt des Mähroboters zurück. Das Risiko von auf der Grasnarbe liegenbleibendem Schnittgut, wie es beim herkömmlichen Mulchmähen häufig beobachtet wird, kann entweder durch Technik verhindert werden, die das Schnittgut aktiv in Richtung Boden befördert, um es in die Grasnarbe einzubringen oder durch den Einsatz von Mährobotern, die Schnittgut produzieren, das klein genug ist, um schnell zersetzt zu werden (PORNARO et al., 2022)

Auffällig im vorliegenden Fall ist, dass zweikeimblättrige Arten ebenfalls fast ausschließlich in den Bereichen gefunden wurden, die mit Sichelmäher und Schnittgutaufnahme gemäht wurden. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von GROSSI et al. (2016), die davon ausgehen, dass die Einwanderung unerwünschter Arten auf mährobotergemähten Flächen durch eine nachweislich dichtere Grasnarbe, einschließlich nachweislich höherer Triebdichten (GROSSI et al., 2016, PIRCHIO et al., 2018) erschwert wird. Allerdings entwickelten zu Versuchszwecken eingepflanzten Unkrautarten beim Schnitt mit dem Mähroboter einen höheren Deckungsgrad. Möglicherweise, weil der häufige Schnitt die kriechenden Unkrautarten horizontal stärker wachsen ließ (PIRCHIO et al., 2018).

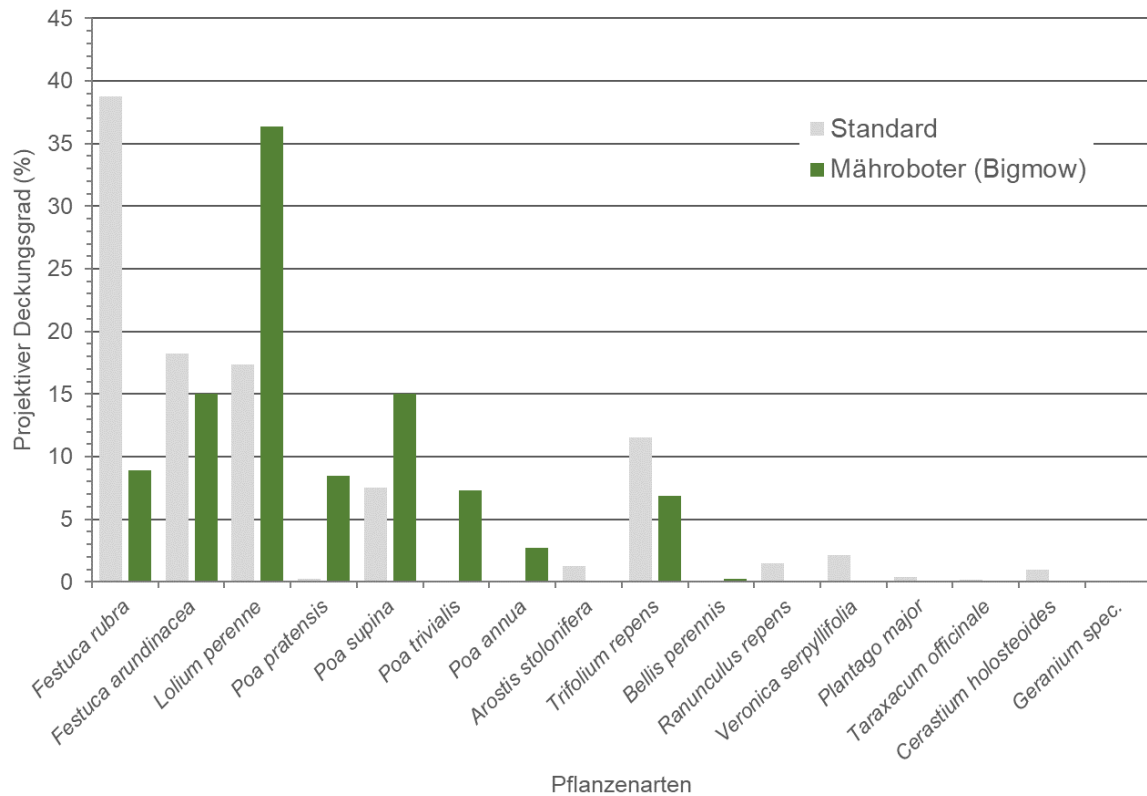


Abbildung 19: Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim. Deckungsgradanteile getrennt nach Arten, gemittelt über die Versuchsparzellen mit unterschiedlichen Ansaatmischungen.

Bodenparameter nach Beendigung des Versuchs

Eine weitere Momentaufnahme stellen die Bodenparameter dar, die 5 Monate nach Beendigung des Versuchs auf Grund anhaltend visuell erkennbarer Unterschiede untersucht wurden. Abbildung 20 zeigt die Ergebnisse der Bodenuntersuchung, die aus zwei verschiedenen Entnahmetiefen (0-3 cm und 3-10 cm) erfolgt ist. Für die einzelnen Parameter wurden je Mähsystemvariante 2 Mischproben zu Grunde gelegt. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind in der Abbildung die jeweiligen Standardabweichungen dargestellt. Auf eine weiterführende statistische Auswertung wurde allerdings auf Grund der geringen Anzahl an Wiederholungen verzichtet.

Der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) der Proben war in der Tiefe höher. Die Werte der Mähsystemvarianten unterschieden sich kaum.

Der gemessene pH-Wert lag in einem Bereich von 5,9-6,5. In der Schicht von 3-10 cm wurden bei beiden Mähsystemen geringfügig höhere Werte beobachtet. Außerdem zeigten die Flächen, die vom Mähroboter bearbeitet wurden, geringfügig höhere Werte.

Beim organischen Kohlenstoffgehalt (C_{org}) betrug der Wert der Variante „Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme“ in 0-3 cm Tiefe 6,7 %, beim Mähroboter nur 4,9 %. Ein ähnliches

Verhalten ist bei insgesamt niedrigeren Werten, in 3-10 cm Tiefe zu beobachten. Wurde mit Sichelmäher und Schnittgutaufnahme gemäht, lag der Anteil an organischem Kohlenstoff bei 3,1 %, erfolgte der Schnitt mit dem Mähroboter lag er bei 2,6 %.

Dies spiegelt sich auch zum Teil in den Ergebnissen der Hauptnährstoffe wider. So folgen die Werte von elementarem Stickstoff (Elementar-N) denen des organischen Kohlenstoffs. Die höheren Werte wurden in 0-3 cm Tiefe gemessen. Auf den Flächen, die vom Mähroboter geschnitten wurden, betrug der Wert in dieser Schicht 0,41 %, und in 3-10 cm Tiefe 0,26 %. Wurde mit Sichelmäher und Schnittgutaufnahme gearbeitet waren es entsprechend 0,47 % und 0,28 %.

Im Fall des leicht mobilen Nitrat-Stickstoffs ($\text{NO}_3\text{-N}$) wurden in 3-10 cm Tiefe bei beiden Mähsystemvarianten geringfügig höhere Werte gemessen. Die Werte der Parzellen mit Schnitt durch den Mähroboter lagen in beiden Schichten über denen mit Schnitt durch Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme. Sie betrugen beim Mähroboter 0,27 mg/l (0-3 cm) und 0,29 mg/l (3-10 cm) gegenüber 0,19 mg/l und 0,22 mg/l beim Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme.

In der vorliegenden Untersuchung finden sich in der Variante „Mähroboter (Bigmow)“ höhere Werte des weniger mobilen Ammonium-Stickstoffs ($\text{NH}_4\text{-N}$). Deutlich ist der Unterschied allerdings nur in der Schicht von 0-3 cm. Hier wurden beim Mähroboter 2,65 mg/l gegenüber 1,55 mg/l bei den durch Spindelmäher mit Schnittgutaufnahme gemähten Parzellen gemessen.

In beiden der untersuchten Schichten wiesen die vom Mähroboter geschnittenen Parzellen auch höhere Kaliumwerte auf. In der Schicht 0-3 cm waren dies durchschnittlich 62,2 mg/l Bodenlösung gegenüber 51,0 mg/l beim Sichelmäher mit Schnittgutaufnahme entsprechend in 3-10 cm Tiefe 35,1 mg/l und 27,8 mg/l.

Bei beiden Nährstoffen Kalium (K_2O) und Phosphor (P_2O_5) finden sich in der Schicht von 0-3 cm höhere Werte. Beim schwer löslichen Phosphor, das einer geringen Verlagerung unterliegt, überrascht das nicht. Auffallend sind die in der oberen der untersuchten Schichten sehr hohen Standardabweichungen, die keine Aussage über Unterschiede der Mähsystemvarianten erlauben, während in 3-10 cm Tiefe sich die Werte kaum unterscheiden.

Bei den vorliegenden Ergebnissen der Bodenanalyse gilt zu beachten, dass auf Grund des Fehlens statistisch verwertbarer Wiederholungen, im wissenschaftlichen Sinn jeweils nur von einem Trend gesprochen werden kann. Allerdings lassen sich die beobachteten Werte in der Regel nachvollziehen und bieten darüber hinaus Ansatzpunkte für die Erklärung der häufig besseren Narbenqualität in Verbindung mit dem Einsatz durch Mähroboter.

Bei der Betrachtung von Untersuchungen zu Mährobotern gilt deshalb unbedingt zu hinterfragen, ob die verfahrensbedingte Schnittgutrückführung in vergleichbarem Umfang durch eine Ausgleichsdüngung auf den Kontrollparzellen berücksichtigt wurde. HECKMAN et al. (2000) sowie KOPP und GUILLARD (2002), zeigten, dass bei einem Verbleib des Schnittguts auf der Fläche die Düngung um 50 % und mehr reduziert werden kann, ohne dass mit Qualitätseinbußen zu rechnen ist.

In der vorliegenden Studie wurde bewusst auf eine Ausgleichsdüngung verzichtet, was die Ergebnisse der Bodenanalyse zum Teil erklärt. Die besseren Werte des NDVI beim Mähroboter lassen sich sicherlich zum Teil ebenfalls auf die Nährstoffrückführung durch das Schnittgut erklären. Vergleicht man den NDVI beider Standorte bzw. die jeweiligen Unterschiede der Mähsystemvarianten so scheint allerdings der Einfluss der Schnitthäufigkeit größer als der der Nährstoffrückführung zu sein.

Die organische Substanz der Rasenversuchsfläche in Hohenheim zeigte unabhängig von der Mähsystemvariante in 0-3 cm Tiefe höhere Werte verglichen mit der darunterliegenden Schicht. Bei Schnittgutrückführung lag in einer Untersuchung von CAZZATO et al. (2004) der Gesamtgehalt an organischer Substanz im Boden in einer 0-4 cm Schicht ebenfalls höher als in der darunter liegenden Schicht. SKIRDE (1978) beobachtete, dass allgemein in einem Zeitraum von drei bis sieben Vegetationsperioden der Gehalt an organischer Substanz in der Rasentragschicht nur geringfügig zunimmt. Er betrug bei Feldversuchen bis zu 1,3 M.-% und bei untersuchten Sportplätzen maximal 0,5 M.-%. Das Vorkommen beschränkte sich auf eine Schicht von 0-5 cm und damit ebenfalls auf den oberflächennahen Bereich.

Entgegen den vorliegenden Ergebnissen, bei denen in der Mährobotervariante (mit Schnittgutrückführung) geringere C_{org} -Gehalte erfasst wurden, beobachteten KAUER et al. (2013a) während eines fünfjährigen Versuchs unter einer Klee-Gras-Mischung und damit nur bedingt vergleichbar, einen Anstieg des C_{org} -Gehalts in einer Schichttiefe von 0-5 cm. Bei Rückführung des Schnittguts durchschnittlich um 42,9 % und bei Entfernung des Schnittguts um 32,0 %. In einer Tiefe von 5–20 cm änderte sich die C_{org} -Konzentration in der Behandlung „Rückführung des Schnittguts“ nicht, aber in der Behandlung „Entfernung des Schnittguts“ mit Düngung nahm die C_{org} -Konzentration um 8,2 % ab. Außerdem zeigten LAW et al. (2017), dass nach zwei Jahren, Flächen, auf denen Grasschnitt zurückgeführt wurde, 3,3 % mehr labiles Boden C (826 vs. 800 mg C / kg Boden) und 3,3 % mehr Gesamtboden-C (24,7 vs. 23,9 g C / kg Boden) aufwiesen als solche, von denen Schnittgut entfernt wurde. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung des Grasschnittmanagements für die C-Akkumulation von Böden.

Eine Erklärung für das abweichende Ergebnis im vorliegenden Fall könnte sein, dass beim Mähroboter auf der Rasenversuchsfläche der Universität Hohenheim das gut aufgeschlossene, sehr kurze, junge Schnittgut mit einem hohen Wassergehalt, durch Mikroorganismen schnell umgesetzt werden konnte. Außerdem könnte die gute Versorgung der Mikroorganismen durch die stetige fließende „Nahrungsquelle“ zu einer höheren biologischen Aktivität geführt haben, die wiederum zu einem rascheren Abbau geführt haben könnte. Eine Schnittgutrückführung kann den C- Gehalt des Bodens nur erhöhen, wenn die mikrobielle Aktivität des Bodens für die Mineralisation ausreicht (HALEY et al., 1985). Dadurch wäre im vorliegenden Fall die Mineralisierung von C_{org} bereits so weit fortgeschritten, dass es zu keiner Akkumulation kommen konnte. Die Anreicherung trotz Schnittgutaufnahme beim Sichelmäher lässt sich dadurch erklären, dass es technisch nicht möglich ist, alles Schnittgut zu erfassen, so dass Schnittgut, das im Vergleich zum Mähroboter länger, weniger aufgeschlossen und physiologisch älter war, schlechter umgesetzt wurde und so langfristig zu einer Anreicherung von organischem Kohlenstoff führen konnte.

Schnittgutverbleib auf der Fläche besitzt grundsätzlich einen Einfluss, auf die Nährstoffrückführung (HALEY et al., 1985, HECKMAN et al., 2000). Ergebnisse von CAZZATO et al. (2004) und LAW et al. (2017) zeigten, dass der Verbleib des Schnittguts auf der Fläche zu einem Anstieg des Gesamt-N Gehalts führt. Der Gesamtgehalt an Stickstoff war in 0-4 cm Tiefe höher als in der darunter liegenden Schicht (CAZZATO et al., 2004). Nach zwei Jahren wiesen Flächen, auf denen Grasschnitt zurückgeführt wurde, 4,6 % mehr Gesamtboden-N (2,28 vs. 2,18 g N / kg Boden) auf als solche, von denen das Schnittgut entfernt wurde. Die Ergebnisse dieser Studie unterstreichen die Bedeutung des Grasschnittmanagements für N-Akkumulation von Böden (LAW et al., 2017).

Mähroboter scheinen außerdem den Anteil schädlicher NH_3 -Verflüchtigungsverluste zu reduzieren, da bei jedem Schnitt nur kleinste Mengen an Schnittgut in der Grasnarbe abgelagert werden. Die Ergebnisse einer Studie zeigen, dass deshalb die Schnittgutrückführung, wenn möglich, stets mit einem häufigen Schnitt kombiniert werden sollte, um die Effizienz der N-Nutzung in Rasensystemen zu verbessern und unerwünschte N-Verluste zu reduzieren (GRUBBS et al, 2021).

KOPP und GUILLARD (2004) beobachteten bei Gebrauchsrasen, dass die Zersetzung von Grasschnitt auch schnell freigesetztes N innerhalb der Filzschicht liefert. Es wird davon ausgegangen, dass ein Teil dieses N während der Vegetationsperiode für das Gras verfügbar und aufgenommen wird. Neben $\text{NO}_3\text{-N}$ werden auch andere N-Formen wie möglicherweise $\text{NH}_4\text{-N}$ aus dem Schnittgut freigesetzt und können von den Gräsern wieder aufgenommen werden (KOPP und GUILLARD, 2009).

Die höheren Werte von Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) und Ammonium Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) in den vom Mähroboter geschnittenen Varianten des Rasenversuchsfeldes in Hohenheim deuten ebenfalls auf diesen Sachverhalt hin. CAPPEL et al. (2013) hingegen konnten im Rahmen einer Untersuchung von Mähsystemvarianten, einschließlich Mährobotern, am Ende des Versuchs in den Bodentiefen 0-5 cm und 5-15 cm keine Unterschiede der N_{min} -Gehalte nachweisen. Allerdings war mit einer Versuchslaufzeit von nur knapp 3 Monaten der Zeitraum vermutlich zu kurz gewählt.

Der Grasnarbe zugeführtes Schnittgut fördert jedoch nur dann den Trockenmasseertrag und damit das Gräserwachstum, wenn die Gräser gleichzeitig noch durch Düngung ausreichend mit N versorgt werden. Ziel ist ein enges C/N-Verhältnis, das die Mikroorganismen-tätigkeit und damit eine schnelle Mineralisation unterstützt. Der Einfluss der Schnittgutrückführung nahm in einer Untersuchung von KAUER et al. (2013b) bis zu einem N-Niveau von 213 kg N / ha zu und begann danach wieder abzunehmen.

Grundsätzlich wird aber empfohlen, die N-Düngeraten entsprechend zu reduzieren, wenn das Schnittgut dem Rasen wieder zugeführt wird (HECKMAN et al., 2000, KOPP und GUILLARD, 2009).

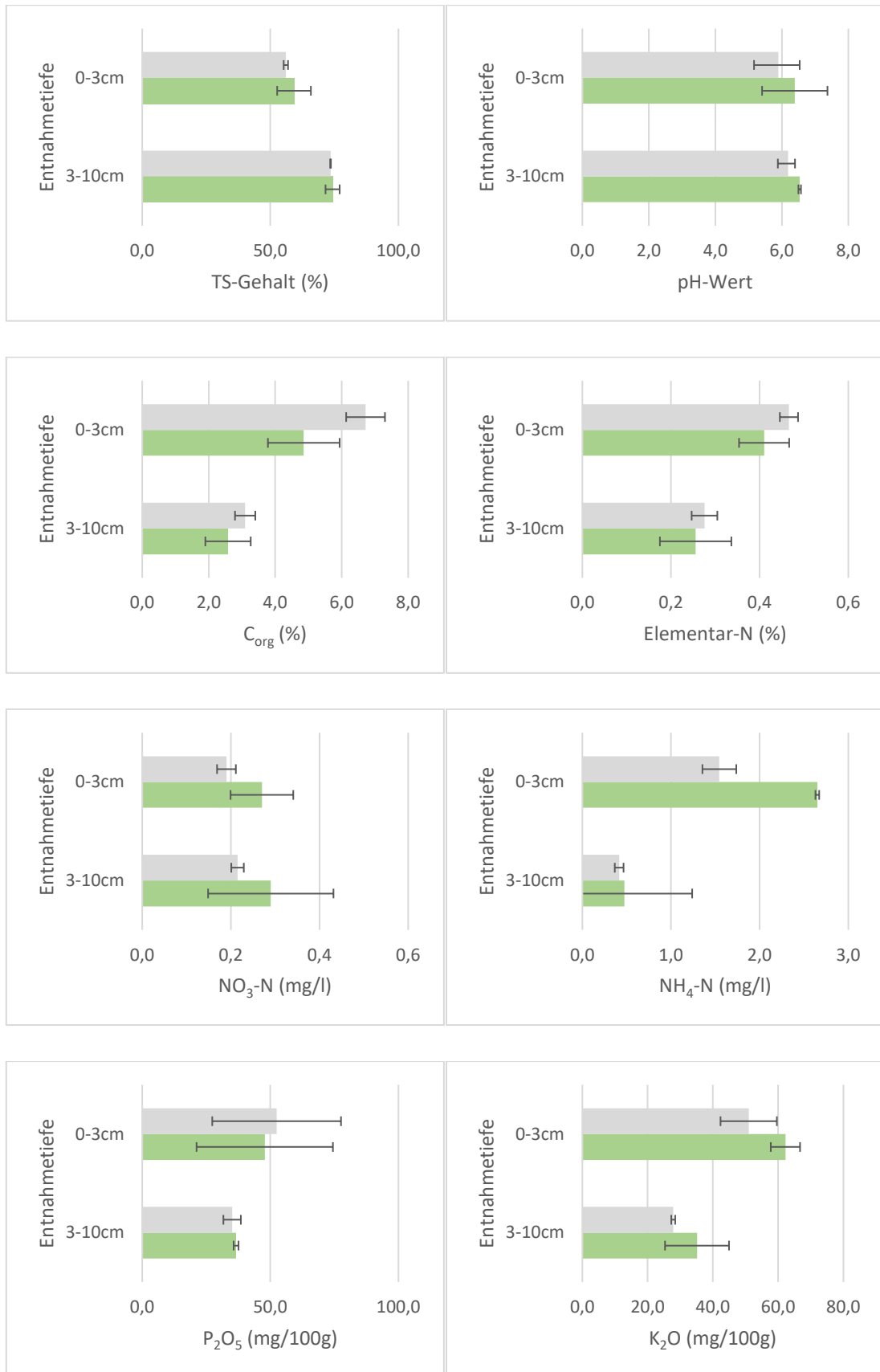


Abbildung 20: Ergebnisse der Bodenuntersuchung des Rasenversuchsfelds an der Universität Hohenheim nach Abschluss des Versuchs. (Grün) Mähroboter (Bigmow) / (Grau) Sichelmäher mit Aufnahme. Fehlerbalken zeigen Standardabweichung.

Zuverlässigkeit der Mähroboter

Abgesehen von einem Defekt am Bumper des Hohenheimer Geräts, verursacht durch eindringendes Kriechwasser im Bereich einer Steckverbindung, arbeiteten die Mähroboter weitgehend störungsfrei. Ausfälle waren in der Regel auf anthropogene Störgrößen zurückzuführen (Abbildung 21). Auf dem Rasenspielfeld waren dies vor allem:

Fehler: Mähkopf blockiert

Auslöser: Tornetze nicht hoch gehängt; Tape-Reste und anderer Abfall auf dem Rasen

Fehler: Unsauberes Schnittbild verursacht durch verbogene Messerklingen

Auslöser: Hülsen im Boden nicht richtig verschlossen



Abbildung 21: Rasenspielfeld (Sportplatz). Links: abgedeckte Hülse für Eckfahne kann problemlos vom Mähroboter überfahren werden. Mitte: Gleiche Hülse mit senkrecht platzierter Abdeckung nach einem Spiel führte zu Schäden an den Messern (rechts). Rechts: beschädigte Messer und Tape-Reste von blockiertem Mähkopf.

Summary

Robotic lawnmowers are suspected of promoting the formation of thatch by remaining clippings within the sward. The present results of the "RoboFilz" 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 cleat shear tester (stud-ded disc apparatus) as rotational traction 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 cleat shear tester 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.

4 Quellen

Aamlid, T.S., Hesselsøe, K.J., Pettersen, T., Borchert, A.F., 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. Ill. Turf Conf. Proc., 1-3.

Cappel, S., Henle, W. Claupein, W., 2013. Schnittgutabfuhr – Mulchen – Mähroboter. Untersuchungen zu Einfluss auf Rasennarbe, Arbeitszeit- und Kostenvergleich. Z. Rasen-Turf-Gazon, (2013), 2, 17-23.

Cazzato, E., Anesse, V., Corleto, A., 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, 60325 Frankfurt/Main.

Deutsches Institut für Normung, 2003. DIN EN 12232: 2003-07, Sportböden - Bestimmung der Filzdicke bei Naturrasen (Deutsche Fassung EN 12232:2003).

Deutsches Institut für Normung, 2007. DIN EN 15301-1: 2007-06, Sportböden - Teil 1: Bestimmung des Drehwiderstandes (Deutsche Fassung EN 15301-1:2007).

Deutsches Institut für Normung, 2018. DIN 18035-4: 2018-12, Sportplätze - Teil 4: Rasenflächen.

Grubbs, R.A., Henry, G.M., Cabrera, M.L., 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., Fontanelli, M., Garramone, E., Peruzzi, A., Raffaelli, M., Pirchio, M., Martelloni, L., Frascioni, C., Caturegli, L., Gaetani, M., Magni, S., McElroy, J. S., & Volterrani, M. 2016. Autonomous Mower Saves Energy and Improves Quality of Tall Fescue Lawn. HortTechnology, (2016), 26(6), 825-830.

Haley, J., Wehner, D., Fermanian, T., Turgeon, A., 1985. Comparison of conventional and mulching mowers for Kentucky bluegrass maintenance. Hortic. Sci. (1985), 20, 105–107.

Heckman, J.R., Liu, H., Hill, W., DeMilia, M., Anastasia, W.L., 2000. Kentucky bluegrass responses to mowing practice and nitrogen fertility management. J. Sust. Agric. (2000), 15, 25–33.

Hesselsøe, K.J., Borchert, A.F., & Aamlid, T.S., 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., Borchert, A.F., Pettersen, T., Hetland, O., Jørgensen, L., Aamlid, T.S., 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., Carrow, R., Burns, R., 1987. Bermudagrass Turf Response to Mowing Practices and Fertilizer¹. *Agronomy Journal* (1987), 79, 677–680.

Kauer, K., Raave, H., Köster, T., Viiralt, R., Noormets, M., Keres, I., Laidna, T., Parol, A., Selge, A., 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., Kölli, R., Viiralt, R., Köster, T., Noormets, M., Laidna, T., Keres, I., Parol, A., Varul, T., Selge, A., 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., Laidna, T., Keres, I., Köster, T., Loit, E., Shanskiy, M., Parol, A., Selge, A., Viiralt, R., Raave, H., 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](https://doi.org/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., Mansourie, P., 1982. Zur Situation von konventionellen Rasensportplätzen- Versuchsergebnisse aus Veitshöchheim. *Zeitschrift für Vegetationstechnik* (1982), 5, 124-131.

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

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

Kopp, K.L., Guillard, K., 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., Trappe, J.M., Jiang, Y., Turco, R.F., Patton, A.J., 2017. Turfgrass selection and grass clippings management influence soil carbon and nitrogen dynamics. *Agronomy Journal* (2017), 109, 1719–1725.

Leinauer, B., VanLeeuwen, D.M., Serena, M., Schiavon, M., Sevostianova, E., 2014. Digital Image Analysis and Spectral Reflectance to Determine Turfgrass Quality. *Agronomy Journal* (2014), 106, 1787–1794.

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

Murray, J., Juska, F., 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., Fontanelli, M., Frascioni, C., Martelloni, L., Raffaelli, M., Peruzi, A., Caturegli, L., Gaetani, M., Magni, S., Volterrani M., Grossi, N., 2018 a: Autonomous Mower vs. Rotary Mower: Effects on Turf Quality and Weed Control in Tall Fescue Lawn, *Agronomy* (2018), 8, 15.

Pornaro, C., Novello, A., Fidanza, M., Macolino, S., 2022. Grasscycling: A Key Practice for Sustainable Turfgrass Management. *Grasses* (2022), 1, 45-52.
<https://doi.org/10.3390/grasses1010005>

Prämaßing, W., Floß, A., Thieme-Hack, M., 2022. Auswirkungen des Mähroboter-Einsatzes auf die Rasenqualität eines Sportrasens. *Z. Rasen-Turf-Gazon*, (2022), 4, 83-90.

Prämaßing, W., Floß, A., Thieme-Hack, M., 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 Seminatural Meadows*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, (2012).

Schiavon, M., Pornaro, C., Macolino, S., 2021. Clippings return decreases mineral nitrogen requirements for bermudagrass (*Cynodon* spp.) lawns in Mediterranean Europe. *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., Morhard, J., 2019. Rasenfilz – Ergebnisse einer Literaturlauswertung. Z. Rasen-Turf-Gazon (2019), 1, 3-9.

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

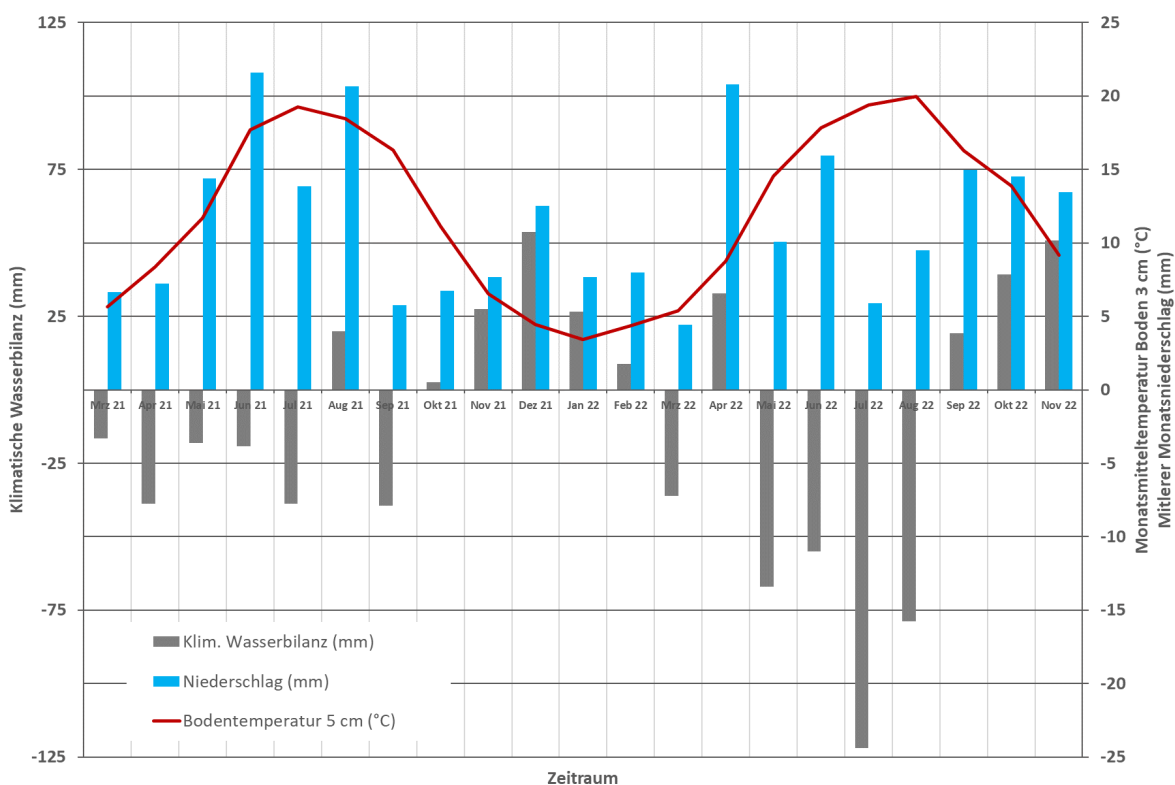
Anhang

Betriebszeiten der Mähroboter. Bei einem Verhältnis von durchschnittlich 1:1,63 daraus resultierende theoretische Lade- und Mähzeiten

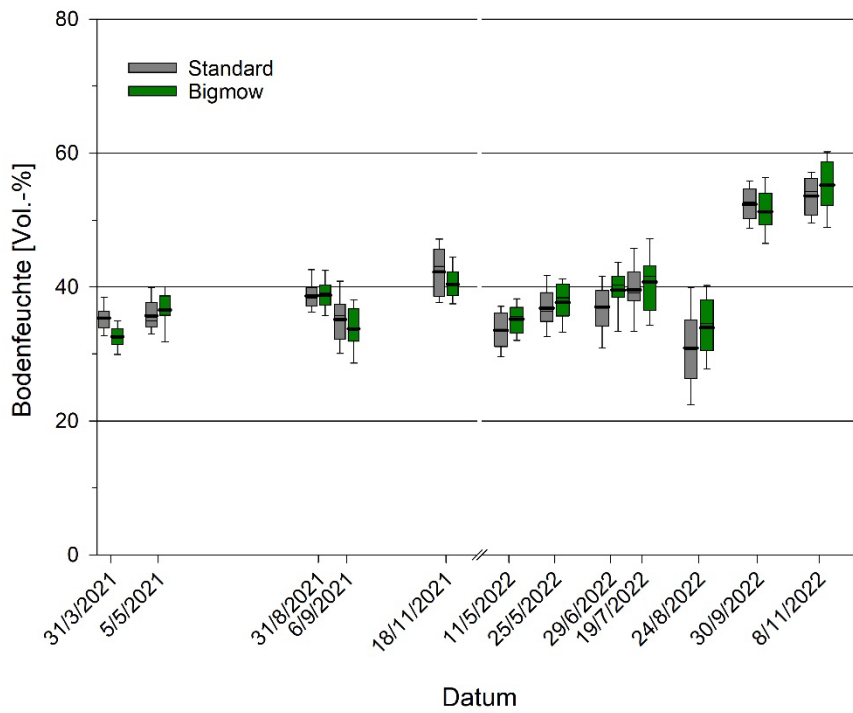
Rasenversuchsfeld Universität Hohenheim		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Summe
ca. 1100 m ² Roboter-Mähfläche	Arbeitsbeginn	08:00		08:00		08:00			Woche
(Versuchsfläche + Randbereiche)	Arbeitsende	16:00		16:00		16:00			(h:min:s)
Arbeitszeit (h:min)		08:00		08:00		08:00			24:00:00
Mähzeit (h:min)		04:57		04:57		04:57			14:52:48
Ladezeit (h:min)		03:02		03:02		03:02			9:07:12

Rasenspielfeld (Sportplatz)		Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Summe
ca. 3650 m ² Roboter-Mähfläche	Arbeitsbeginn 1	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	06:00	Woche
(Versuchsfläche + Randbereiche)	Arbeitsende 1	15:00	15:00	15:00	15:00	15:00	10:00	10:00	(h:min:s)
	Arbeitsbeginn 2						19:30	19:30	
	Arbeitsende 2						23:00	23:00	
Arbeitszeit (h:min)		09:00	09:00	09:00	09:00	09:00	07:30	07:30	60:00:00
Mähzeit (h:min)		05:34	05:34	05:34	05:34	05:34	04:39	04:39	37:12:00
Ladezeit (h:min)		03:25	03:25	03:25	03:25	03:25	02:51	02:51	22:48:00

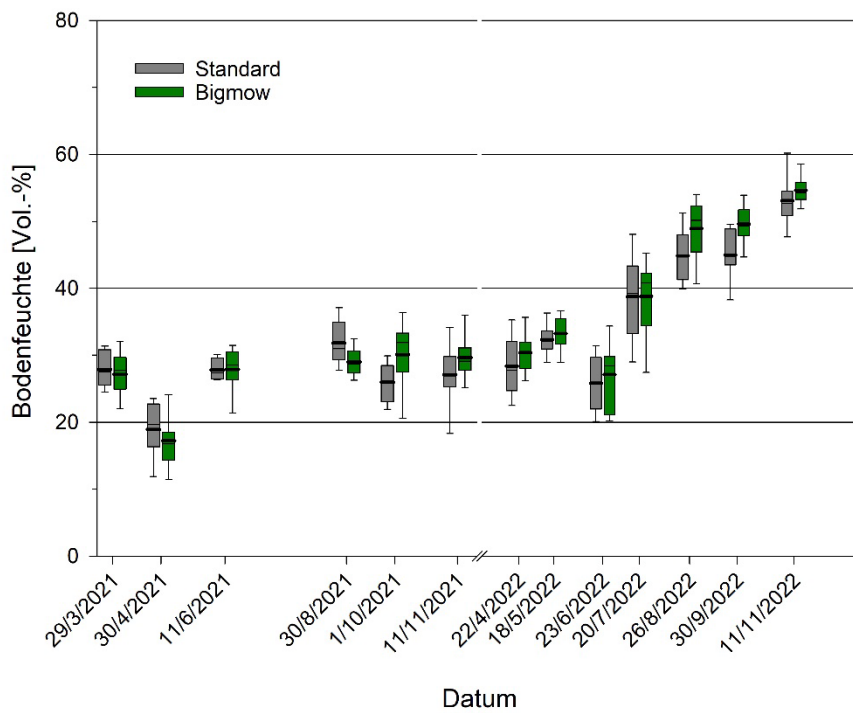
Witterung während des Versuchszeitraums (3/2021-11/2022). Wetterstation Hohenheim. Klimatische Wasserbilanz (mm), Niederschlag Monatssumme (mm), Bodentemperatur 5 cm, Monatsmittel (°C).



Rasenversuchsfeld an der Universität Hohenheim. Volumetrischer Bodenwassergehalt während des Untersuchungszeitraums.



Rasenspielfeld (Sportplatz). Volumetrischer Bodenwassergehalt während des Untersuchungszeitraums.



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 Literaturlauswertung. 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 Herrn Christian Maiwald, der das Projekt von Anfang an stets vorbehaltlos maßgeblich unterstützt und begleitet hat.

Dem Unternehmen Belrobotics (YAMABIKO), 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 Herrn 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.

Lindau, 5. September 2023

Dr. Jörg Morhard

Universität Hohenheim
Institut für Agrartechnik
Garbenstraße 9
D-70599 Stuttgart

Fon +49 (0)711 459 22860

E-Mail: joerg.morhard@uni-hohenheim.de