



STUDIE

Automatisierte Rasenpflege auf Golfplätzen
– Hinweise für die Betreiber von Golfanlagen –
Deutscher Golf Verband

ILOS

**Institut für Landschaftsbau
Sportfreianlagen und Grünflächen**

In Science to Business GmbH -
Hochschule Osnabrück

Bearbeitung:

Jan Rosenbusch, M.Eng.

Projektleitung:

Prof. Martin Thieme-Hack

Prof. Dr. Wolfgang Prämaßing

02.04.2020

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Maschinenkosten je Leistungseinheit in EUR (Abbildung: ILOS)	2
Abbildung 2 Akkubetriebener Rasenmäroboter (Abbildung: ILOS)	5
Abbildung 3 Fairwaymäher mit autonomer Steuerung (Abbildung: ILOS)	6
Abbildung 4 Bewertung der Rasenqualität durch Gruppe HMT (Abbildung: ILOS)	9
Abbildung 5 Bewertung der Rasenqualität durch Gruppe RMR (Abbildung: ILOS)	9
Abbildung 6 Gesamtbewertung für autonomes Mähen durch Gruppe HMT (Abb. ILOS)	9
Abbildung 7 Gesamtbewertung für autonomes Mähen durch Gruppe RMR (Abb.: ILOS).....	9
Abbildung 8 Hinterer Ultraschall-Sensor und Notaus-Schalter bei einem Fairwaymäher mit autonomer Steuerung (Abbildung: ILOS).....	10
Abbildung 9 Rasenmäroboter auf gepflastertem Bereich an Ladestation (Abbildung: ILOS) 13	
Abbildung 10 Nicht von einem herkömmlichen Fairwaymäher mit autonomer Steuerung bearbeitbares Design (Abbildung: ILOS)	14
Abbildung 11 Von einem herkömmlichen Fairwaymäher mit autonomer Steuerung ausgelassene Stellen aufgrund eines ungenauen GPS oder eines angelernten ungenauen Arbeitsganges (Abbildung: ILOS).....	14
Abbildung 12 Betrieb eines herkömmlichen Fairwaymähers mit autonomer Steuerung unter Aufsicht (Abbildung: ILOS)	15
Abbildung 13 Rasenmäroboter können keine Mähmuster produzieren (Abbildung: ILOS)..	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Beispiel für eine Maschinenkostenkalkulation bei identischen Leistungseinheiten pro Jahr (Abbildung: ILOS)	19
Tabelle 2 Entscheidungshilfe (Abbildung: ILOS).....	24

1. Executive Summary

Die beiden autonom arbeitenden Rasenpflegesysteme „akkubetriebene Rasenmäroboter“ (RMR) und die „herkömmliche Mähtechnik mit autonomer Steuerung“ (HMT) wurden in den Jahren 2018-2019 hinsichtlich ihrer technischen Eigenschaften und ihrer Beeinflussung von Rasen- und Spielqualität einem Vergleich unterzogen. Während unter RMR handelsübliche Kleinroboter zu verstehen sind - erhältlich als Modelle für kleinräumige Einsatzbereiche im Hausrasen bis zu Modellen für die Pflege von Großrasenflächen, wie z. B. auf Golfplätzen - sind mit HMT ausschließlich für den professionellen Einsatz konzipierte, mit einer autonomen Steuerung ausgestattete, Standard-Fairwaymäher gemeint.

Durch die Auswertung vorhandener Literatur und die Durchführung von Experten- und Spielerinterviews konnten Unterschiede hinsichtlich der in ihren jeweiligen Eigenschaften begründeten Beeinflussung der Rasen- und Spielqualität auf Golfplätzen ermittelt werden. So sind als positive Eigenschaften von RMR vor allem ihre kurzen Mähintervalle und die sehr geringen Gerätegewichte zu nennen, wodurch negative Einflüsse auf die Vitalität von Rasenflächen ausbleiben. Durch das nahezu identische Gewicht im Vergleich zu Standard-Fairwaymähern besteht kein Gewichtsvorteil von autonom gesteuerten Fairwaymähern. Hinzu kommt außerdem ein eindeutig negativer Aspekt durch komplexe Wendemanöver an den Mähbahnen in Randbereichen und das ungenaue Mähen bei schlechtem GPS-Empfang. Wenn die typischen Mähmuster auf einer Spielbahn autonom hergestellt werden sollen, liegt hier jedoch der größte Vorteil dieses Systems, da RMR durch ihre zufällige Fahrweise hierzu nicht in der Lage sind.

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Betrachtung zeigten sich eindeutige Unterschiede – RMR sind die ökonomischste Art der Rasenpflege. Überraschend ist, dass der Einsatz von HMT unwirtschaftlicher ist, als der Einsatz von Standard-Fairwaymähern ohne GPS-Ausstattung für eine autonome Steuerung. Dies liegt darin begründet, dass HMT durch ihre geringe Geschwindigkeit und eine mähbahnüberlagernde Fahrweise einen höheren Kraftstoffverbrauch besitzen können und bei diesem System aufgrund der Aufsichtspflicht im Fahrbetrieb nicht auf die Arbeitskraft von Personal verzichtet werden kann – auch wenn sie nicht mehr auf dem Fahrersitz Platz nehmen muss und parallele Tätigkeiten ausführen kann.

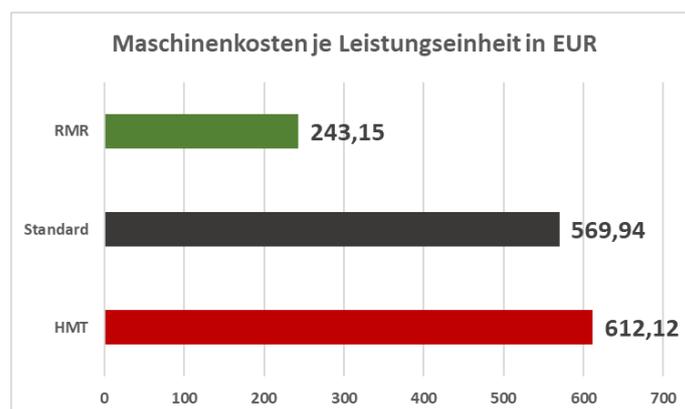


Abbildung 1 Maschinenkosten je Leistungseinheit in EUR (Abbildung: ILOS)

2. Einleitung

Die in eine Vielzahl von Arbeitsbereichen einziehende Automatisierung macht vor dem Greenkeeping auf Golfanlagen nicht halt. Auch in der Rasenpflege werden zunehmend autonome Systeme zur Rasenpflege angeboten.

Ob und wie solche Systeme auch für das Greenkeeping auf Golfanlagen genutzt werden können, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Diese Studie soll den Verantwortlichen auf Golfanlagen Grundlagen zu den gängigsten Ausführungen der automatisierten Rasenpflege liefern, als Entscheidungshilfe dienen und Hinweise geben, welche Veränderungen und Auswirkungen sich durch die Einführung, insbesondere von Mährobotern, für Golfanlagen ergeben.

Grundlage der folgenden Hinweise ist eine im Auftrag des Deutschen Golf Verbandes am Institut für Landschaftsbau, Sportfreizeitanlagen und Grünflächen in der Science to Business GmbH – Hochschule Osnabrück im Zeitraum 2018 bis 2019 durchgeführte Studie.

3. Techniken der automatisierten Rasenpflege

Was sind die gängigsten Techniken der automatisierten Rasenpflege und welche Voraussetzungen müssen vor einer Einführung erfüllt sein?

Die wichtigste Eigenschaft automatisierter Rasenpflege stellt ihre bedienungslose Arbeitsweise dar. Diese ist qua Definition bei allen autonomen Techniken gegeben.

Eine sinnvolle Unterscheidung verschiedener autonomer Mähetechniken erfolgt in:

a) Akkubetriebene Rasenmäroboter

1. zufällige und je nach Modell durch Verortung unterstützte Fahrweise im durch Induktionsschleifen begrenzten Bereich
2. georeferenzierte Steuerung durch GPS-Daten ohne Notwendigkeit eines durch Induktionsschleifen begrenzten Bereichs

b) Herkömmliche Mähetechnik mit autonomer georeferenzierter Steuerung durch GPS-Daten

4. Akkubetriebene Rasenmäroboter

Leise, unauffällig und auf sich allein gestellt - akkubetriebene Rasenmäroboter sind die typischen Mähroboter.

Da sie anfallendes Schnittgut nicht aufnehmen und über Sichelmäherwerke verfügen, sind sie den Sichelmähern (Unterkategorie Sichelmulchmäher) zuzuordnen.

Einen festgelegten Arbeitsbereich mähen Rasenmäroboter je nach Modell in der Regel zufällig. Einige Modelle können zusätzlich durch Verortung oder andere Techniken erkennen, ob sie einen Bereich in einem Mähzyklus bereits überfahren haben und meiden diesen bis die übrigen Bereiche auch überfahren wurden. So kann die Akkuladung effizient genutzt werden. Systeme die vollständig durch GPS gesteuert nach einem programmierten Muster arbeiten, werden zwar schon am Markt angeboten, sind zum Zeitpunkt der Studie jedoch noch wenig im Einsatz.

Die für den Betrieb notwendige Akkuladung wird eigenständig überwacht und die Ladestation bei Bedarf selbstständig angesteuert.

Es gibt eine Vielzahl von verschiedenen Modellen von diversen Herstellern am Markt, die sich vor allem in Punkto Arbeitsbreite, Messeranzahl, Fahrgeschwindigkeit, Akkukapazität, Ladezeit, Schnitthöhenbereich und Begrenzungstechnik des Arbeitsbereiches unterscheiden.

Voraussetzungen:

Für die Stromversorgung der Ladestation wird in der Regel ein Stromanschluss (230 V) benötigt.

Für die zufällig arbeitenden Mäher erfolgt die Festlegung des begrenzten, auf die Größe des Mähers abgestimmten Arbeitsbereichs durch Erdverlegung eines Signalkabels (Induktionsschleife).

Wird von einem Modell kein Signalkabel benötigt, muss eine georeferenzierte (raumbezogene) Karte des Arbeitsbereichs in das Betriebssystem geladen werden.



Abbildung 2 Akkubetriebener Rasenmäroboter (Abbildung: ILOS)

5. Herkömmliche Mähtechnik mit autonomer Steuerung

Ohne auf die Vorzüge bewährter Mähtechnik verzichten zu müssen, lassen sich einige herkömmliche personengesteuerte Rasenmäher (z. B. Fairwaymäher) und in Roughbereichen eingesetzte Zugmaschinen mit einer autonomen Steuerung erweitern.

So können beispielsweise mit demselben Fahrzeug festgelegte Arbeitsbereiche autonom nach einem festgelegten Muster oder zufällig gemäht werden oder es lassen sich angelernte Arbeitsabläufe beliebig oft abspielen, während andere Bereiche herkömmlich mit einer Person am Steuer bearbeitet werden.

Die Positionserkennung und -steuerung erfolgt stets per GPS.

Voraussetzungen:

Um die Fahrzeuge autonom in festgelegten Bereichen arbeiten zu lassen, müssen die Grenzen des Arbeitsbereichs zuvor programmiert werden. Soll ein Fahrzeug Arbeitsabläufe abspielen, so muss das System vorher angelernt werden, indem sämtliche Handlungen des Bedienpersonals in einem Musterarbeitsgang aufgenommen werden. Die Arbeiten des Mähers oder Traktors erfolgen mit GPS-Unterstützung. Unter hohem Baumbestand kann es dazu kommen, dass das Fahrzeug kein GPS-Signal erhält und ein exaktes Lenken unmöglich wird.

Neu auf dem Markt sind führerstandslose Mäher mit autonomer Steuerung, die vollständig akkugetrieben sind. Zum Zeitpunkt der Erhebungen für diese Studie waren Mäher dieser Kategorie in Deutschland noch nicht im Betrieb. Es ist geplant, Ende 2020 diese Studie um eine Bewertung von "führerstandslosen vollelektrischen Fairway-Spindelmähern" zu erweitern.



Abbildung 3 Fairwaymäher mit autonomer Steuerung (Abbildung: ILOS)

6. Einfluss auf die Rasenqualität

Erhöht eine automatisierte Rasenpflege die Rasenqualität?

Die Qualität der Rasenflächen ist von vielen Faktoren abhängig. Neben der Versorgung mit Nährstoffen, Wasser, Bodenluftaustausch uvm. hat auch die Mähtechnik Einfluss auf die Rasenqualität.

So können **akkubetriebene Rasenmäroboter** nach einzelnen Quellen theoretisch zu einer verbesserten Rasenqualität beitragen, indem durch ihre permanenten, nur durch Ladeintervalle unterbrochenen, Mähvorgänge das Wurzelwachstum verbessert und die Narbe dichter wird, was bessere Balllagen begünstigen kann. Das geringe Einsatzgewicht von ca. 70 kg bei den größten erhältlichen Modellen beugt auch einer Bodenverdichtung vor. In der Folge kann der Aerifizierbedarf reduziert werden. Der permanente Schnitt fördert auch eine höhere Triebdichte und eine Reduzierung des Pflanzenstresses. Die Regenerationsfähigkeit nimmt insgesamt zu und das Auftreten breitblättriger Unkräuter kann geringgehalten werden.

Auch wenn der Effekt nicht wissenschaftlich belegt ist, kann der permanente Betrieb von Rasenmärobotern zur Vergrämung von Maulwürfen und Wühlmäusen durch ständige feine Vibrationen der Geräte im normalen Arbeitsmodus beitragen.

Durch die zusätzliche **Ausstattung herkömmlicher Mähtechnik mit autonomer Steuerung** wird nach derzeitigem Kenntnisstand keine bessere Rasennarbe als unter personengesteuertem Einsatz erreicht. Die bisher im Einsatz befindlichen Geräte dieses Typs werden auf den untersuchten Plätzen zur exakten Bemusterung (Mähschattierungen) auf Fairways eingesetzt. Die GPS Steuerung arbeitet deutlich exakter als dies ein Fahrer leisten kann – wenn ein ausreichend starkes GPS-Signal empfangen wird. Erfahrungen aus der Praxis zeigen außerdem, dass beim Mähen am Hang entweder ein ungemähter Streifen oder eine Überlappung der Fahrbahnen von bis zu 70 cm auftreten kann, da sich der GPS-Empfänger auf dem Dach des Mähers in gewisser Höhe befindet. Bei Schräglage des Fahrzeugs entsteht ein Winkel vom GPS-Empfänger zur Rasenfläche, der größer ist, je stärker sich das Fahrzeug neigt und wodurch es schließlich zu Fehllenkungen des Systems kommen kann.

Des Weiteren konnten in der Praxis teilweise durch komplexe, mit häufigen Lenkbewegungen vollzogene, Wendemanöver herkömmlicher Mäher mit autonomer Steuerung entstehende Verdichtungen bzw. Schäden in der Rasennarbe in den Randbereichen der gemähten Flächen identifiziert werden. Andere Erfahrungen zeigen genau das Gegenteil, nämlich, dass Wendemanöver langsamer und kontrollierter vonstattengehen und somit Schäden vermieden werden können.

7. Einfluss auf die Spielqualität

Erhöht eine automatisierte Rasenpflege die Spielqualität?

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf den Einsatz beider Systeme auf Fairways und Driving Ranges. Der größte Vorteil automatisierter Rasenpflege liegt in der theoretischen Möglichkeit einer Terminierung der Mäharbeiten in die Nacht- bzw. sehr frühen/späten Stunden, wodurch eine Störung des Spielflusses und der Golfspieler vermieden und somit eine verbesserte Spielqualität erreicht werden kann. Sowohl herkömmliche Mäher mit autonomer Steuerung als auch akkubetriebene Rasenmähroboter sind technisch in der Lage in völliger Dunkelheit zu operieren. Dabei üben jedoch autonom gesteuerte herkömmliche Mäher ihre Arbeit wesentlich schneller als Rasenmähroboter aus.

Durch die bauartbedingten maximalen Schnittiefen der akkubetriebenen Rasenmähroboter wird eine Erhöhung der traditionellen Schnitteinstellungen in bestimmten Spielbereichen (z. B. Abschlag und Spielbahn) nötig. Schwächere Spieler profitieren hiervon, da Fehlschläge verringert werden können und so ein insgesamt schnelleres Spiel möglich wird, was schlussendlich allen Spielern zu Gute kommt. Golfplätze, deren Pflegestandards Schnitthöhen in Spielbereichen wie Abschlägen und Spielbahnen unter 18 mm vorsehen, werden hier durch die begrenzten Tiefschnittfähigkeiten von Rasenmährobotern limitiert. Ein Vorteil der Mahd durch Rasenmähroboter liegt in der im Wochenverlauf einheitlichen Schnitthöhen durch den permanenten Betrieb im Vergleich zum intervallartigen Arbeiten autonomer- als auch personengesteuerter herkömmlicher Mäher. Durch ständig gleiche Gräserhöhen entfällt ein tagesabhängiges Kriterium worauf sich Golfspieler normalerweise einstellen müssen.

Durch fast tägliches Mähen mit gleichmäßigen Schnitthöhen kann ein insgesamt gepflegtes Erscheinungsbild erreicht werden.

In der Praxis kann es zu Störungen des Spielbetriebs durch automatisierte Golfplatzpflegegeräte kommen, wenn im Spiel befindliche Bälle vom Mähwerk des herkömmlichen Mähers oder vom Rasenmähroboter verschoben werden. Wenn das passiert, dann muss der Ball straflos an die ursprüngliche Stelle zurückgelegt werden, die geschätzt werden muss, wenn sie nicht genau bekannt ist (Golfregel 9.6).

8. Spielerempfinden

Wie ist das Spielerempfinden zu automatisierter Rasenpflege?

Eine Befragung von zwei Gruppen von Golfspielern mit Erfahrung auf von mit a) autonom gesteuerten herkömmlichen Rasenmähern (Gruppe HMT) und mit b) Rasenmärobotern (Gruppe RMR) gepflegten Golfplätzen ergab ein eindeutiges Ergebnis pro automatisierter Rasenpflege.

Dabei wurden in der Gruppe der Golfspieler auf einem mit Rasenmärobotern gepflegten Golfplatz insgesamt bessere Bewertungen hinsichtlich einer Verbesserung der Rasenqualität gegenüber herkömmlichem Mähen als in der Gruppe der Spieler auf Plätzen mit Mähtechnik mit autonomer Steuerung vergeben (Abbildungen 4 und 5).

Die Gruppe der Spieler auf einem Platz mit Einsatz von Rasenmärobotern gab dem autonomen Mähen zudem eine bessere Gesamtbewertung (Abbildungen 6 und 7).

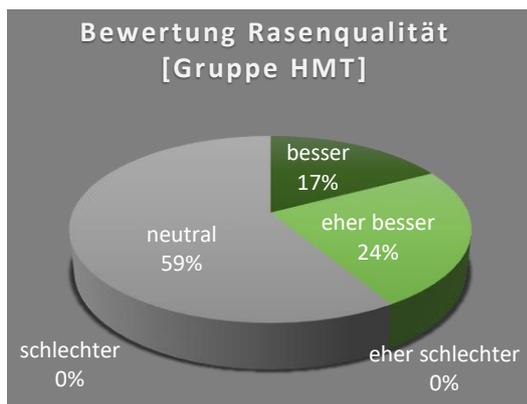


Abbildung 4 Bewertung der Rasenqualität durch Gruppe HMT (Abbildung: ILOS)

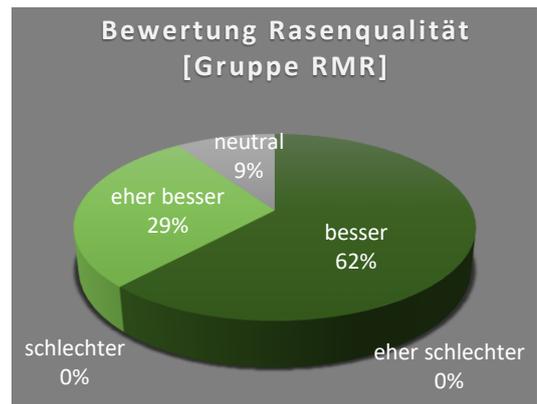


Abbildung 5 Bewertung der Rasenqualität durch Gruppe RMR (Abbildung: ILOS)

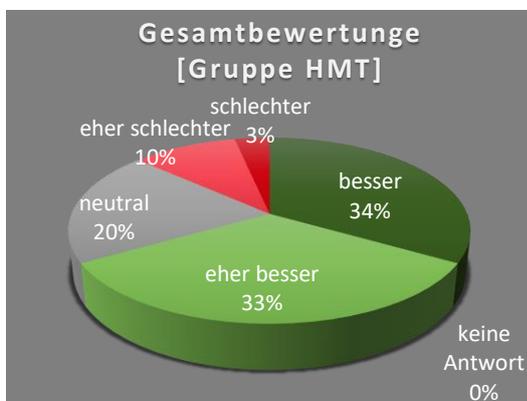


Abbildung 6 Gesamtbewertung für autonomes Mähen durch Gruppe HMT (Abbildung: ILOS)

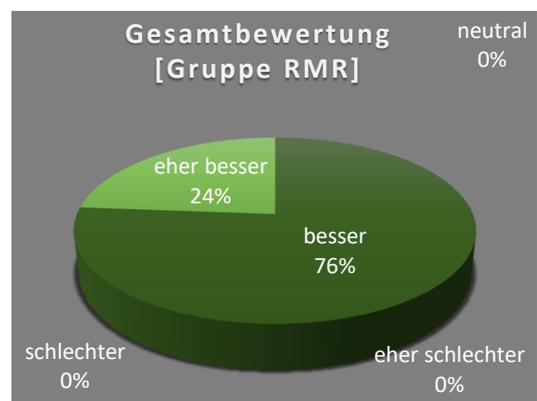


Abbildung 7 Gesamtbewertung für autonomes Mähen durch Gruppe RMR (Abbildung: ILOS)

9. Sicherheitsaspekte

Ist eine automatisierte Rasenpflege sicher?

Damit autonom arbeitende Systeme sicher sind, müssen sie über Sensoren verfügen, die unvorhersehbare Ereignisse erkennen und darauf reagieren.

Ein unvorhersehbares Ereignis kann z. B. ein sich frontal in Fahrtrichtung des Mähers befindender Golfspieler darstellen. Dieser kann, modell- und systemabhängig, ohne Personenkontakt über ein Ultraschall-Sonar und/oder mit Personenkontakt durch Aktivierung eines pneumatischen Kontaktschalters, z. B. in Form eines Stoßdämpferbandes, vom Gerät erkannt werden.

Als Reaktion des Mähers folgen darauf entweder ein Umfahren des Hindernisses (Rasenmäroboter) oder ein vollständiger Arbeitsstopp (herkömmliche Mähetechnik mit autonomer Steuerung). Eine zusätzliche Abschaltung des Mähwerks ist der Sicherheit förderlich. Beim Rasenmäroboter geschieht dies durch Auslösen eines Kontaktschalters bei Anhebung des Geräts und bei herkömmlicher Mähetechnik mit autonomer Steuerung im Rahmen des vollständigen Arbeitsstopps bei Hinderniserkennung kurze Zeit nach dem Fahrtstopp. Bewegt sich das Hindernis aus dem Operationsbereich des Mähers mit autonomer Steuerung wird der Arbeitsprozess selbstständig wiederaufgenommen.

Aus Haftungsgründen bestehen herstellerabhängige Vorgaben bezüglich der Notwendigkeit eines Betriebs der Geräte nur in eingezäunten Bereichen und/oder unter Aufsicht einer autorisierten Person. In der Regel können die kleineren Rasenmäroboter autonom ohne Aufsicht arbeiten, herkömmliche Mähetechnik mit autonomer Steuerung muss in der Regel beaufsichtigt werden.



Abbildung 8 Hinterer Ultraschall-Sensor und Notaus-Schalter bei einem Fairwaymäher mit autonomer Steuerung (Abbildung: ILOS)

10. Grenzen der automatisierten Rasenpflege

Wann kommt die automatisierte Rasenpflege an ihre Grenzen?

Die technischen Besonderheiten von **Rasenmärobotern (RMR)** sind insbesondere:

- Der mögliche Schnitthöhenbereich liegt modellabhängig zwischen 18 mm und 100 mm. Herkömmliche Mähtechnik bietet ein deutlich weiteres Spektrum.
- Abhängig vom Modell können Steigungen bis zu 35° bearbeitet werden.
- Abhängig vom Modell bewältigt ein Mähroboter Flächen bis zu 30.000 m². Die meisten Modelle sind für Flächen unter 5.000 m² ausgelegt.
- Insbesondere bei Trockenheit können sich Fahrspuren auf der Fläche abzeichnen. Bei Modellen mit geringen Schnittbreiten kommt dieser Faktor stärker zum Tragen.
- Der Betrieb bei Nässe kann zu Verklumpungen des Schnittgutes und geringer Traktion führen. Radschlupf führt zu Schäden an der Rasennarbe.
- Durch kleinere Gegenstände besteht die Gefahr der Blockierung des Mähwerks oder des Festfahrens. Zum Schutz vor dem Überfahren von Golfbällen werden in der Regel Ballabweiser eingebaut.
- Aufgrund fehlender nachlaufender Rollen/Walzen und der zufälligen Fahrweise können Rasenmäroboter keine Mähmuster produzieren.
- Besonders stark frequentierte Bereiche (z. B. Anfahrtswege unmittelbar vor Ladestationen) sollten nach einigen Praxiserfahrungen im Umfang von 1 bis 3 m² gepflastert werden, damit das Gerät einwandfrei arbeiten kann und es nicht zu unansehnlichen überstrapazierten Bereichen kommt. Andere Erfahrungen zeigten wiederum, dass dies nicht erforderlich ist. Somit ist dieser Faktor standortabhängig.
- Häufig müssen Konturen der zu mähenden Flächen „maschinenegerecht“ angepasst werden (z. B. Bunkeranten, Flächenzuschnitt).
- Durch Magnetfelder von Wasserleitungen, metallenen Gegenständen, Magnetventilen o. ä. kann die Funktion der Induktionsschleife beeinträchtigt werden. Die Erfahrungen aus

der Praxis sind verschieden. Zudem ist modellabhängig eine Einstellung von unterschiedlichen Kanälen mit verschiedenen Frequenzbereichen der Induktionsschleife möglich.

Die technischen Besonderheiten der **herkömmlichen Mähtechnik mit autonomer Steuerung (HMT)** sind insbesondere:

- Aus Gründen der Haftung ist immer eine Aufsichtsperson in Sichtentfernung des Mähers erforderlich.
- Besonders sensible Sensoren reagieren bereits auf kleine Gegenstände, wie z. B. Hinterlassenschaften aus Übungsstunden oder verlorenes Equipment. Dann pausieren die Geräte so lange ihre Arbeit, bis das Hindernis sich entfernt hat oder entfernt wurde. Daher ist eine Aufsicht notwendig und der Betrieb kann praktisch nur noch bei Tage erfolgen.
- Häufig müssen Konturen der zu mähenden Flächen maschinengerecht angepasst werden (z. B. Abstand zu Hindernissen, Eliminierung von Engstellen, Kuppen und Vertiefungen).
- Bäume und hohe Bauwerke können die Genauigkeit des GPS-Systems beeinflussen. Das System führt bei GPS-Verbindungsunterbrechungen einen Notstop aus und muss manuell neu gestartet werden.
- Die herkömmliche Mähtechnik mit autonomer Steuerung wendet nach Praxiserfahrungen bis zu 50 % mehr Zeit für die gleiche Arbeit von herkömmlicher Mähtechnik ohne autonome Steuerung auf. Dies liegt zum einen in der geringeren Fahrtgeschwindigkeit und teilweise beobachteten langwierigen Wendemanövern begründet. Zum anderen wird in der Praxis für eine vollständige Flächenbearbeitung bei der Fairwaymäh teilweise eine Überlappung der Mähebahnen von bis zu 30-45 cm eingestellt, um ungemähte Bereiche wie in Abbildung 11 zu vermeiden. In solchen Fällen werden nach Praxiserfahrungen ca. 15 % der Gesamtfläche doppelt gemäht, was zu einem entsprechend höheren Treibstoffverbrauch führt. Andererseits können nach unterschiedlichen Praxiserfahrungen etwa 8-12 Std. Arbeitszeit pro Woche für andere Tätigkeiten bereitgestellt werden.



Abbildung 9 Rasenmäroboter auf gepflastertem Bereich an Ladestation (Abbildung: ILOS)



Abbildung 10 Nicht von einem herkömmlichen Fairwaymäher mit autonomer Steuerung bearbeitbares Design (Abbildung: ILOS)



Abbildung 11 Von einem herkömmlichen Fairwaymäher mit autonomer Steuerung ausgelassene Stellen aufgrund eines ungenauen GPS oder eines ungenau angelernten Arbeitsganges (Abbildung: ILOS)

Automatisierte Rasenpflege auf Golfplätzen



Abbildung 12 Betrieb eines herkömmlichen Fairwaymähers mit autonomer Steuerung unter Aufsicht (Abbildung: ILOS)



Abbildung 13 Rasenmäroboter können keine Mähmuster produzieren (Abbildung: ILOS)

11. Wirtschaftlichkeit

Welche Wirtschaftlichkeitsaspekte spielen bei der automatisierten Rasenpflege eine Rolle?

Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit sind insbesondere folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Anschaffungskosten
- Kosten für die Wartung, Instandhaltung, Reparatur
- Treibstoff-/Energiekosten
- Nutzungsdauer
- Lebensdauer
- ggf. Erstellen und Instandhalten von Parkplätzen, Überdachungen, Zäunen
- Personalbedarf bei Störungsmeldungen
- Flächenkontrollen auf herumliegende Objekte
- Schulungskosten
- Arbeitsstundeneinsparung/-mehraufwand
- Verlegung der Mähgänge in die Nachtstunden ermöglicht durch ausbleibende Spielstörungen am Tag theoretisch eine höhere Spieldichte

Für die unterschiedlichen Techniken im Speziellen bestehen zusätzlich folgende Wirtschaftlichkeitsaspekte:

a) Akkubetriebene Rasenmäroboter

- Messerkontrollen
- Messerwechsel (in der Regel alle 2 Wochen, Kosten von ca. 60 € pro Gerät/Jahr)
- Wartungs- und Instandhaltungsaufwand (bis zu -50 %)
- Akkuwechsel (ca. alle 4 Jahre)

Automatisierte Rasenpflege auf Golfplätzen

- Werden die Schnitthöhen von benachbarten Spielbereichen (z. B. Tee-Box und Fairway) angeglichen, um sie mit dem/den selben Mährobotern zu pflegen, kann auf die Anschaffung spezieller Geräte, wie z. B. eines Tee-Mähers, verzichtet werden
- Reduzierung des Vertikutier-, Aerifizier-, Bewässerungs-, Pflanzenschutzmittel- und Düngaufwandes ist möglich
- Akkus mit großen Akkuladepkapazitäten und langen Ladeintervallen sind tendenziell langlebiger
- Stromversorgung über Photovoltaikanlage möglich
- Komplizierte Bedienmenüs einiger Geräte sind im Profialltag zeitaufwendig

b) Herkömmliche Mähtechnik mit autonomer Steuerung

- Werden in der Regel manuell zu den Einsatzorten gefahren
- Notwendige Beaufsichtigung lässt im Rahmen freierwerdender Arbeitsstunden nur bestimmte Tätigkeiten im Umkreis des arbeitenden Mähers zu (z. B. Laubblasen, Bunkerpflege). Durch die notwendige Beaufsichtigung fallen Lohnkosten an. Nach Praxiserfahrungen belaufen sich diese auf ca. 50-75 % der Lohnkosten der personengeführten herkömmlichen Mähtechnik
- Autonome Steuerung ist nicht für alle Modelle nachrüstbar
- Autonome Steuersysteme sind jährlich zu warten
- Langfristig möglicherweise höherer Verschleiß des Hydrostat-Getriebes durch aufwendigere Wendemanöver
- Durch niedrigere Fahrgeschwindigkeiten und bei eingestellten Überlappungen des Mähbereichs von bis zu 15 % kann es zu einem höheren Kraftstoffverbrauch als bei personengesteuerter herkömmlicher Mähtechnik kommen. Praxiserfahrungen zeigen, dass dieser um bis zu 25 % erhöht sein kann.
- Aufgrund der Größe des Gerätes liegt die Wahrscheinlichkeit von Golfbällen getroffen zu werden ca. 100mal höher als bei Rasenmährobotern. Somit besteht ein höheres Beschädigungsrisiko

Automatisierte Rasenpflege auf Golfplätzen

- Durch ein fehlendes GPS-Signal oder ein Rollen des herkömmlichen Mähers mit autonomer Steuerung bei Wendemanövern in Hanglagen werden jeweils Notstops verursacht, die nur manuell behoben werden können und damit Arbeitskraft binden

12. Investitions- und Instandhaltungskosten

Welche Investitions- und Unterhaltungskosten besitzen automatisierte Rasenpflegesysteme?

Eine beispielhafte Maschinenkostenkalkulation anhand der verschiedenen Szenarien **Betrieb von Rasenmärobotern (RMR)**, **Betrieb herkömmlicher Mähtechnik mit autonomer Steuerung (HMT)** und des **Betriebs von herkömmlicher Mähtechnik mit Bedienpersonal (Standard)** verdeutlicht die Unterschiede hinsichtlich zu erwartender Investitions- und Instandhaltungskosten der einzelnen Systeme.

In der folgenden beispielhaften Berechnung wurde das Fairwaymähen einer 18-Loch-Anlage über eine Nutzungsdauer von 9 Jahren (Abschreibungszeitraum für Rasenmäher) zugrunde gelegt. Bestimmte Werte sind anlagenspezifisch und müssen ggf. angepasst werden.

Da Rasenmäroboter täglich in Betrieb sind, während das Fairwaymähen mit autonomer oder personengesteuerter herkömmlicher Mähtechnik intervallartig vollzogen wird, wurde für eine bessere Vergleichbarkeit in der folgenden Berechnung allen Systemen eine identische Anzahl von Mähgängen (Leistungseinheiten pro Jahr) zugrunde gelegt:

	Berechnungsgrundlagen:	Menge			Einheit
		RMR	HMT	Standard	
a	Anschaffungskosten	120.000,00	210.000,00	140.000,00	Euro
b	Nutzungsdauer	9,00	9,00	9,00	Jahre
c	kalkulierter Zinssatz für Kapitalkosten	6,00	6,00	6,00	% pro Jahr (Mischzins Fremd-/Eigenkosten)
d	Leistungseinheiten pro Jahr	100,00	100,00	100,00	Mähgänge pro Jahr
e	Vorhaltetage	260,00	260,00	260,00	Vorhaltetage pro Jahr
f	Lebens-Reparaturkostenfaktor	50,00	50,00	50,00	% der Anschaffungskosten
g	Strom-/Kraftstoffverbrauch	24,53	56,00	45,00	kWh Strom/Liter Diesel pro Mahd
h	Strom-/Kraftstoffpreis	0,2916	1,289	1,289	Euro pro kWh Strom/Liter Diesel
i	Zuschlag für Schmierstoffverbrauch	0,00	20,00	20,00	% der Kraftstoffverbrauchskosten
j	sonstige feste Gerätekosten		11.250,00	22.500,00	Lohnkosten für Bedienpersonal pro 100 Mähgänge
	Berechnung der Maschinenkosten:	Werte (€)			Rechnung
aa	kalkulierte Abschreibung pro Jahr	13.333,33	23.333,33	15.555,56	a/b
ab	+ kalkulierte Zinsen pro Jahr	3.600,00	6.300,00	4.200,00	a/2 x c/100
ac	+ sonstige feste Gerätekosten	0,00	11.250,00	22.500,00	j (als Jahressatz)
ad	= feste Kosten pro Jahr	16.933,33	40.883,33	42.255,56	Summe aa bis ab
ae	= feste Kosten pro Leistungseinheit	169,33	408,83	422,56	ad/d
ba	+ Reparaturkosten pro Einheit	66,67	116,67	77,78	a/(b x d) x f/100
bb	+ Kosten für Betriebsstoffe	7,15	72,18	58,01	g x h
bc	+ Kosten für Schmierstoffe	0,00	14,44	11,60	bb x i/100
bf	= Maschinenkosten je Mahd	243,15	612,12	569,94	Summe ae bis bc

Tabelle 1 Beispiel für eine Maschinenkostenkalkulation bei identischen Leistungseinheiten pro Jahr (Abbildung: ILOS)

Der Berechnung liegen folgende Annahmen zugrunde:

- die Maschinenkosten beziehen sich jeweils auf die Gesamtheit der betriebenen Geräte pro 18-Loch-Platz
- Anzahl betriebener Mäher: 32 + 2 Reserve (RMR) und 2 (HMT und Standard)
- in den Anschaffungskosten in Höhe von € 120.000,00 für RMR sind alle Kosten für die Verlegung von Signal- und Stromkabeln enthalten
- Preis für einen Fairwaymäher: € 70.000,00
- Preis für die Ausstattung eines Fairwaymähers mit autonomer Steuerung: € 35.000,00
- die Nutzungsdauer beträgt bei allen Systemen 9 Jahre
- der kalkulierte Zinssatz für Kapitalkosten beträgt 6,00 %
- RMR verbrauchen Strom (kWh)
- HMT und Standard verbrauchen Diesel (Liter)
- der Strompreis beträgt 29,16 Cent/kWh
- der Dieselpreis beträgt € 1,289/Liter
- der Kraftstoffverbrauch eines Standard-Fairwaymähers beträgt 4,5 L/Std.
- der Kraftstoffverbrauch eines herkömmlichen Fairwaymähers mit autonomer Steuerung ist um ca. 25 % erhöht = 5,6 L/Std.
- der Stromverbrauch eines Mähroboters beträgt 23 kWh/Monat bei einer Mahd pro Tag
- zwei Fairwaymäher führen eine Gesamtplatzmahd in 10 Stunden aus
- der Lebens-Reparaturkostenfaktor beträgt für alle Systeme 50 % und enthält bereits alle Kosten für Instandhaltung
- der Zuschlag für Schmierstoffverbrauch beträgt bei HMT und Standard 20 %
- die Personalkosten für eine Bedienperson betragen 11,25 €/Stunde
- Lohnkosten für Aufsichtspersonal, Störungsbeseitigung und Reparaturen bei HMT betragen 50 % von Lohnkosten bei Standard

Anhand der beispielhaften Berechnungen wird deutlich, dass beim Einsatz von akkubetriebenen Rasenmährobotern über die gesamte Nutzungsdauer geringere Investitions- und Unterhaltungskosten zu erwarten wären, als bei dem Betrieb von autonom oder durch Bedienpersonal gesteuerter herkömmlicher Mähetechnik. Ein tägliches Fairwaymähen mit akkubetriebenen Rasenmährobotern böte somit bei geringeren Kosten eine höhere Rasenpflegeintensität als ein intervallartiges Fairwaymähen durch herkömmliche Mähetechnik mit autonomer Steuerung oder durch einen Betrieb mit Bedienpersonal.

13. Ökologische Qualität

Was sind die ökologischen Vorteile einer automatisierten Rasenpflege?

Herkömmliche Mähtechnik mit autonomer Steuerung bietet gegenüber personengesteuerten Mähern keinen weiteren ökologischen Mehrwert. Durch die geringere Fahrtgeschwindigkeit und die oben genannten Überlappungen von ca. 15 % der Gesamtmähfläche dauern die Mähgänge wesentlich länger, so dass von einem gegenüber personengesteuerten Mähern um 25 % erhöhten Treibstoffverbrauch in Verbindung mit einer schlechteren CO₂-Bilanz auszugehen ist.

Im Folgenden werden ökologisch positive Aspekte akkubetriebener **Rasenmäroboter** genannt:

- Keine Abgasemissionen
- Kein Ausstoß von CO₂
- Geringe Lärmbelastigung (modellabhängig; um 50 db(A))
- Verringerung von Dünger- und Pflanzenschutzmittelapplikationen durch Nährstoffrückführung und vitalerer Gräser
- Kein Risiko durch auslaufende Kraftstoffe und (Hydraulik-) Öle

14. Soziale Qualität

Welche Bedeutung hat die autonome Rasenpflege für Mitarbeiter?

In einer nicht repräsentativen Befragung von Golfplatzverantwortlichen wurde angegeben, dass durch die Etablierung einer automatisierten Rasenpflege Arbeitsstunden für die Rasenpflege eingespart werden können.

Eine Einsparung von Personalkosten durch Stellenabbau ist somit theoretisch möglich.

In den befragten Golfanlagen wurden freiwerdende Arbeitsstunden aus der Rasenpflege jedoch durchgängig für andere Tätigkeiten eingeplant, um bei gleichbleibenden Personalkosten die Gesamtqualität einer Anlage zu erhöhen.

15. Image

Fördert die Einführung einer automatisierten Rasenpflege das Image eines Golfplatzes?

Die Verwendung automatisierter Rasenpflege ist in Deutschland noch selten. Dies bestätigt eine Vielzahl von Fachaufsätzen über den Einsatz entsprechender Techniken auf Golf- und Sportanlagen.

Golfplatzbetreiber können nach Einführung von der medialen Aufmerksamkeit profitieren. Die positiven Erfahrungen von Golfspielern auf Anlagen mit autonomer Rasenpflege lassen insgesamt eine Attraktivitätssteigerung für Mitglieder und Gastspieler nach Einführung erwarten.

16. Entscheidungshilfe

Zur einfachen Orientierung welche Technik für welche Funktionsflächen auf einem Golfplatz unter Gewichtung individueller Schwerpunkte geeignet ist wurde eine Entscheidungshilfe für Golfplatzbetreiber entwickelt.

Die Anwendung erfolgt durch individuelle Gewichtung der aufgelisteten Kriterien (von „0“ = „nicht wichtig“ bis „2“ = „sehr wichtig“) und Multiplikation mit vorgegeben Noten. Am Ende lässt sich ein Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Systeme für sämtliche Spielbereiche durchführen.

Die Entscheidungshilfe findet sich auf den nächsten sechs Seiten.

Entscheidungstabelle "Automatisierte Rasenpflege", [RMR* = Akkubetriebene Rasenmähdroboter; HMT* = Herkömmliche Mähtechnik] Akkubetriebene Rasenmähdroboter											
Qualitäten	Einsatzbereiche			Grüns			Vorgrüns			Abschlüsse	
	Gewicht [2 bis 0/KO]	x	Note [1 bis 5/ja]	Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung
1 Technische Qualität											
1.1 Verletzungsschutz											
1.1.1 Gerät besitzt Stop-/Umfahr-Mechanismus durch Sonar-											
1.1.2 Hinderniserkennung und/oder Stoßdämpferband/pneumatischen	KO		ja	keine	ja	keine	keine	ja	keine	ja	keine
1.1.3 Kontaktschalter											
1.1.4 Gerät verfügt über eine Form der automatischen			1		1				1		
1.1.5 Mähwerkabschaltung bei Hinderniskontakt/-erkennung											
1.2 Voraussetzungen											
1.2.1 Stromversorgung für Ladestation(en) (230 V)	KO für RMR*		ja	keine	ja	keine	keine	ja	keine	ja	keine
1.2.2 Signalkabelverlegung oder Georeferenzierung; modellabhängig	KO für RMR*		ja	keine	ja	keine	keine	ja	keine	ja	keine
1.2.3 Notwendig: Mind. Toro ReelMaster 5x10 oder John Deere x700A	KO für HMT*		-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2.4 (alle Einsatzbereiche außer Rough)/mind. Fendt 200 Vario (Rough)											
1.2.5 Programmieren (Dynamow)/Abfahren + Speichern (Teach & Play)	KO für HMT*		-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2.6 des Mähbereichs											
1.3 Einsatzbedingungen											
1.3.1 Störunganfälligkeit bei Hinterlassenschaften (z. B. Trainings-			5		5					5	
1.3.2 utensilien auf Übungsflächen oder verlorene Gegenstände)											
1.3.3 Einsatz bei Nässe			3		3					3	
1.3.4 Schnitt Höhenbereich: <18 oder >100 mm; bei RMR* modellabhängig			5		1					1	
1.3.5 Steigungen ≥35°	KO		ja	keine	ja	keine	keine	ja	keine	ja	keine
1.4 Spielqualität											
1.4.1 Erhöhung der Strapazierfähigkeit & Scherfestigkeit			1		1					1	
1.4.2 Erscheinungsbild			3		3					2	
1.4.3 Streifenmuster			5		5					5	
1.4.4 Störung des Spielflusses (nicht relevant bei Nachteinsatz)			5		3					3	
1.4.5 Terminierung der Mähgänge			2		2					2	
1.4.6 Schnelligkeit der Mähgänge			4		4					4	
1.4.7 Senioren- und Anfänger profitieren von ggf. höherer/niedrigerer											
1.4.8 Schnitthöhe bei Einsatz von RMR* -> insgesamt schnelleres Spiel			1		2					3	
1.5 Rosenqualität											
1.5.1 Stressminimierung für Rasengräser			1		1					1	
1.5.2 Verbesserung Artenzusammensetzung			2		2					2	
1.5.3 Stärkung der natürlichen Regenerationsfähigkeit			2		2					2	
1.5.4 Förderung des horizontalen und vertikalen Wurzelwachstums			2		2					2	
1.5.5 Verhinderung von Bodenverdichtungen			1		1					1	

Herkömmliche Mähtechnik mit autonomer Steuerung																	
Fairways			Semirough			Rough			Driving Range			Grüns		Vorgrüns		Abschl	
Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung	Note 1 bis 5/ja	=
ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	
1		1		1		1		1		3		3		3		3	
ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	-		-		-		-	
ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	-		-		-		-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	
5		5		5		5		5		3		3		3		3	
3		3		3		3		3		2		2		2		2	
1		1		1		1		1		1		1		1		1	
ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	
1		1		1		1		1		3		3		3		3	
1		1		2		2		1		1		1		1		1	
5		5		5		5		5		2		2		2		2	
2		1		1		1		1		2		2		1		2	
2		2		2		2		2		1		1		1		1	
4		4		4		4		4		2		2		2		2	
3		2		1		1		3		3		3		3		3	
1		1		1		1		1		3		3		3		3	
2		2		2		2		2		3		3		3		3	
2		2		2		2		2		3		3		3		3	
2		2		2		2		2		3		3		3		3	
1		1		1		1		1		4		4		4		4	

Automatisierte Rasenpflege auf Golfplätzen

Frage	Fairways		Semirough		Rough		Driving Range	
	Note 1 bis 5/ja	= Bewertung						
keine	ja	keine	keine	keine	keine	keine	keine	keine
	3		3		3		3	
-	-		-		-		-	
-	-		-		-		-	
keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine
keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine
	3		3		3		3	
	2		2		2		2	
keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine	ja	keine
	3		3		3		3	
	3		3		3		3	
	2		2		2		2	
	2		2		2		2	
	1		1		1		1	
	2		2		2		2	
	3		3		3		3	
	3		3		3		3	
	3		3		3		3	
	3		3		3		3	
	3		3		3		3	
	4		4		4		4	

