

Rasenfilz – Ergebnisse einer Literaturlauswertung

Stürmer-Stephan B. und J. Morhard

Zusammenfassung

Das vorliegende wissenschaftliche Review zum Rasenfilz gibt einen Überblick über den derzeitigen Stand der Forschung. Verschiedene Definitionen von Rasenfilz werden genannt und seine Messmethoden beschrieben. Die Auswertung der Quellen zeigt die Schwierigkeit, dass die Ergebnisse der Messungen von Rasenfilz aufgrund unterschiedlicher Definitionen und Messmethoden ebenso unterschiedliche, teils gegensätzliche Schlussfolgerungen erlauben. Ursachen und Auswirkungen werden ebenso dargestellt, wie wichtige Gegenmaßnahmen zur Reduktion von Rasenfilz.

Summary

The present scientific review about the thatch on play ground lawns gives a clear view on the current research status. In this review different definitions of thatch are mentioned as well as measurement methods described. An in-depth source evaluation reveals the difficulty to draw the right conclusions because the results of the thatch measurements differ significantly depending on definitions or measurement methods so that the conclusions obtained are sometimes opposite. In this review causes and effects of thatch on lawns are presented as well as preventive measures to reduce it.

Résumé

Dans la revue scientifique sur le feutrage des gazons à notre disposition on peut avoir un bref aperçu sur le niveau actuel de la recherche à cet égard. On y mentionne entre autres les différentes définitions du feutrage des gazons ainsi que les méthodes des mesures utilisées. Toutefois, une analyse approfondie en révèle les difficultés encourues car les différentes définitions et méthodes de mesure donnent des résultats très différents et conduisent à des résultats contradictoires. Dans cette revue on y présente non seulement les causes et effets du feutrage sur les gazons, mais indique aussi les mesures les plus importantes à prendre pour en réduire le feutrage.

Einleitung

Der Anfall an organischer Masse wird bei Rasenspielfeldern auf 8.000 kg TM / ha und Jahr geschätzt. Er setzt sich, bezogen auf die Trockenmasse, aus 3.500 kg Wurzeln, 2.000 kg Schnittgut und 2.500 kg anderer vegetativer Teile zusammen (RIEM VIS, 1981). Die Akkumulation organischer Masse an der Bodenoberfläche von Rasenflächen in Form von Filz verändert deren Eigenschaften maßgeblich. Während sich geringe Filzstärken sogar positiv auf die Funktion von Rasenspielfeldern auswirken können (HORST et al., 1996; PETROVIC, 1990; SKIRDE, 1974; SNYDER und CISAR, 1995), können stärkere Filzschichten diese maßgeblich beeinträchtigen (BARTON et al., 2009; BEARD, 1973; HURTO et al. 1980; MURRAY und JUSKA, 1977). Die vorliegende Literaturübersicht bedient sich ausgewählter Quellen und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Spätestens während der Recherche zum vorliegenden Beitrag wurde die Komplexität des Themas deutlich, dessen umfassende Bearbeitung jeden Rahmen sprengt hätte. Die größte

Schwierigkeit war die Tatsache, dass selbst wenn in wissenschaftlicher Literatur von Filz gesprochen wird, damit sehr unterschiedliche Dinge gemeint sein können. Diese haben nur eines gemeinsam, nämlich dass es sich dabei um eine mehr oder weniger organische Schicht handelt, die sich mit unterschiedlicher Ausprägung unmittelbar unterhalb an die grüne Vegetationszone von Rasenflächen anschließt. So zahlreich die möglichen Varianten von Rasenfilz sind, so unterschiedlich sind die Aussagen über die Auswirkungen des Vorhandenseins von Filzschichten bei Rasenflächen.



Abb. 1: Geringe Filzaufgabe eines Sportplatzes mit gut erkennbarer Bildungszone aus absterbenden Blättern, Ausläufern und Wurzeln. (Alle Fotos: J. Morhard)

Definitionenversuche

Die große Variabilität von Filz zeigt sich unter anderem darin, dass es im wissenschaftlichen Bereich keine präzise und allgemeingültige Definition von Rasenfilz (engl. Thatch) gibt. Zentrale Bestandteile von Rasenfilz sind abgestorbene Blätter sowie periodisch absterbende Wurzeln, Rhizome und Stolonen (ENGEL, 1954 in SIDHU et al., 2013). Ihre Anteile variieren über die Schichtstärke des Rasenfilzes. Die Untersuchungen von LEDEBOER und SKOGLEY (1967) an *Agrostis canina* L. ergaben eine Abnahme des organischen Anteils im Rasenfilz mit zunehmender Schichttiefe. So fanden sich beispielsweise in den tieferen Zonen keine makroskopisch erkennbaren Rückstände der Blätter, verbunden mit einer deutlichen Abnahme lebender Wurzeln. Der Hauptbestandteil des Rasenfilzes waren Knoten der Stolonen der Gräser. Dieser schichtenweise Aufbau resultiert aus der Neubildung von lebendem Pflanzenmaterial in der oberen Zone und dem kontinuierlichen Abbau des Pflanzenmaterials in den tieferen Zonen des Filzes. Die Auto-



Abb. 2: Lockerer Rasenfilz.

ren folgern daraus, dass die Definition von Rasenfilz ohne Blätter erfolgen sollte. BEARD (1973) bezeichnet Rasenfilz als leicht vermischte Zwischenschicht, die sich zwischen der grünen Vegetationszone und der anstehenden Bodenoberfläche entwickelt. Die deutsche Fassung der EN 12232 (2003) zur Bestimmung der Filzdicke bei Naturrasen definiert den Begriff Filzdicke als „Dicke der vermischten organischen Schicht aus abgestorbenen und lebenden Keimlingen, Halmen und Wurzeln, die sich zwischen der Zone der grünen Vegetation und der Bodenoberfläche entwickelt“. Sie präzisiert, „Die Obergrenze der Filzschicht kann als eine fortlaufende horizontale Fläche definiert werden, die sich unmittelbar unter irgendwelchen deutlich davon getrennten grünen Blättern befindet und die Untergrenze ist der Bereich, wo faseriges organisches Material dem eindeutigen Partikel des Wachstumsmediums weicht“. So präzise lässt sich das in der Praxis jedoch nicht trennen. Von Rasenfilz im engeren Sinn wird deshalb im englischsprachigen Raum die als „Mat“ bezeichnete Übergangszone zum Bodenaufbau hin unterschieden. Diese meist dunkelbraun gefärbte Zone ist durch eine starke Vermischung von Bodenmatrix und im Abbau befindlichem Rasenfilz gekennzeichnet (MCCARTY et al., 2005). Es liegt auf der Hand, dass diese Zone völlig andere Eigenschaften aufweist als eine lockere Filzaufgabe. Die Schwierigkeit bei der Interpretation der nachfolgen-



Abb. 3: Mehrere Zentimeter starke Filzschicht eines Golfgrüns mit Schichten unterschiedlichen Wasserhaltevermögens.

den Untersuchungen, ist die Tatsache, dass es sich hier entgegen der modellhaften Annahme der DIN EN 12232 um einen fließenden Übergang handelt, der von den Autoren mal mehr mal weniger zum Rasenfilz im engeren Sinn hinzugeschlagen wurde.

Messmethoden

Es liegt nahe, dass etwas, was nur in der Theorie exakt definiert werden kann, sich schwer eindeutig messen oder bestimmen lässt. Zur Messung der Ausprägung von Rasenfilz gibt es mehrere Methoden, welche unterschiedlich stark in den Rasen eingreifen. Die deutsche Fassung der EN 12232 beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Filzdicke bei Naturrasen. Hierfür wird die Rasenfläche mit einem Ausstecher, der einen Durchmesser von 40 mm bis 120 mm hat, beprobt. Nachdem sich der zusammengedrückte Rasenfilz wieder entfaltet hat, wird an vier Positionen die Auflagedrücke in Millimetern mit einem Lineal gemessen. In der Literatur ist darüber hinaus die Messung der Schichtstärke mit dem Lineal im zwischen Daumen und Zeigefinger komprimierten Zustand beschrieben. Auf diese Weise soll die Messung unabhängig von der Dichte des Rasenfilzes sein (CALLAHAN et al., 1997). Beide Methoden sind einfach und schnell durchführbar. Die Nachteile dieser Methoden liegen insbesondere in der Schwierigkeit der Abgrenzung von Rasenfilz und darunterliegender Übergangszone (engl. Mat) sowie der hohen Variabilität zwischen den Messungen einzelner Personen (CALLAHAN et al., 1997). Bei den genannten Verfahren ist die Vergleichbarkeit der Werte deshalb nur bedingt gewährleistet. CARROW et al. (1987) bemängeln darüber hinaus, dass das im Rahmen von Pflegemaßnahmen zugeführte anorganische Material, wie beispielsweise Sand, meist nicht berücksichtigt werden kann, da es sich je nach Vermischungsgrad nicht differenzieren lässt. Wichtig ist deshalb die Erfassung der prozentualen Veränderung zu einer Kontrollvariante.

SMITH (1979) verwendet die absolute Trockenmasse zur Beschreibung der Ausprägung von Rasenfilz, eine andere Methode den Anteil an organischer Masse. Dazu wird an einem ausgestochenen Profil die Rasenfilzschicht (z. T. einschließlich Übergangszone) freigestellt und eine Bestimmung des organischen Trockensubstanzgehaltes durchgeführt. Die Probe wird dabei für

48 Stunden bei 105 °C getrocknet. Die getrocknete Probe wird anschließend bei 600-700 °C in einem Muffelofen während fünf Stunden eingeäschert. Aus der Massendifferenz ergibt sich der Anteil an organischer Trockensubstanz (CARROW et al., 1987; HURTO et al., 1980; MCCARTY et al., 2007). Das Verfahren wird als Glühverlustbestimmung bezeichnet. Die Schwierigkeit ist trotz des hohen zeitlichen und apparativen Aufwands auch hier die exakte Abgrenzung des Probereiches.

Rasenfilz kann auch mit Hilfe eines sogenannten „Thatchmeters“ bestimmt werden (SHADDOX und UNRUH, 2019, VOLK, 1972). Diese Messmethode basiert auf der Messung der Komprimierbarkeit der Rasennarbe, welche unmittelbar von der Rasenfilzdicke und -dichte abhängt (VOLK, 1972). Bei dieser Methode wird ein Stempel mit einer Kreisfläche von 7,92 cm² durch einen Auflagedruck von 570 g/cm² in die Grasnarbe gedrückt und anschließend die Einsinktiefe abgelesen. Trockengewichte von Rasenfilz und Schichtstärken, gemessen mit einem Lineal, korrelieren bei VOLK (1972) signifikant mit den Messergebnissen des Thatchmeters auf einem Golfgrün mit *Cynodon dactylon* var. Tifdwarf. In Untersuchungen von WHITE und DICKENS (1984) konnte jedoch keine signifikante Korrelation zwischen den Messungen mit einem Nachbau des Thatchmeters und den Ergebnissen von Linealmessungen nachgewiesen werden ebensowenig bei SHADDOX und UNRUH (2019) in *Zoysia japonica* Steud. Die Autoren vermuten, dass der von VOLK (1972) ermittelte Auflagedruck in diesem Fall zu gering ist, um durch Blattmassen mit hoher Dichte und Steifigkeit bis in die Filzschicht einzudringen. Eine Langzeitstudie über die Dauer von sechs Jahren zeigte hingegen wieder einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Linealmessung und der Messung mit Thatchmeter. Die Ergebnisse der organischen Massebestimmung mittels Glühverlustbestimmung waren mit den anderen Messmethoden jedoch nicht vergleichbar (CALLAHAN et al., 1997). Die Messung der Rasenfilzdicke mit dem Thatchmeter überzeugte in dieser Untersuchung durch die schnelle Durchführbarkeit und die hohe Auflösung. In der Praxis konnte sich dieses Verfahren bislang jedoch nicht durchsetzen, da nur wenige Untersuchungen die Rasenfilzdicke mit dem Thatchmeter bestimmt haben und somit Vergleichswerte fehlen (CALLAHAN et al., 1997; VOLK, 1972; WHITE und DICKENS, 1984).

Einen zukunftsweisenden Ansatz für präzise und vergleichbare Messungen von Rasenfilz stellt die sogenannte Fourier-Transform-Infrarotspektroskopie dar, mit der in Laborversuchen bereits eine Bestimmung des organischen Horizontes anhand des Reflektionspektrums der Tragschicht durchgeführt wurde (LI et al., 2013).

Abschließend sei noch ein weiteres Verfahren genannt, das Aussagen über den Rasenfilz erlaubt. Es basiert auf der Bestimmung der CO₂ Respiration eines Probenkerns der Filzschicht unter kontrollierten Bedingungen. Bei erhöhter Kohlenstoffdioxidproduktion der Probe wird von einer erhöhten mikrobiellen Aktivität ausgegangen, von der sich ein erhöhter Rasenfilzabbau ableiten lässt. Diese Methode wurde zur Bestimmung der Auswirkungen von unterschiedlichen chemischen Formulierungen, wie Pflanzenschutzmitteln, auf den Rasenfilzabbau verwendet (MARTIN und BEARD, 1975).

Ursachen

Die Bildung von Rasenfilz ist das Resultat aus einem Ungleichgewicht zwischen der Entstehung von organischer Masse und deren Abbaurate (BEARD, 1973). Jeder Faktor, der entweder die Bildung oder den Abbau von Pflanzenmaterial beeinflusst, hat somit einen Einfluss auf die Rasenfilzbildung (HURTO et al., 1980). Zu den wachstumsfördernden Faktoren gehört unter anderem die Düngung. Wasserlöslicher Stickstoff führte bei *Agrostis stolonifera subsp. palustris* (Huds.) zu einer Erhöhung der Rasenfilzdicke (MANCINO et al., 1993). Bei einer sehr hohen jährlichen Aufwandmenge von 75 g/m² Rein-N konnte eine signifikante Zunahme der Rasenfilzdicke bei Bermudagrass (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) beobachtet werden (MEINHOLD et al., 1973). Die Düngung mit schwerlöslichem Ammoniumsulfat hingegen führte bei Aufwandmengen von bis zu 48 g/m² Rein-N weder bei *Cynodon dactylon* (L.) Pers. noch bei *Agrostis stolonifera* L. zu einer erhöhten Rasenfilzbildung (CARROW et al., 1987; EGGENS, 1980; SMITH, 1979).

Unter wachstumsfördernden Umweltbedingungen nimmt neben der Neubildung organischer Masse auch deren Abbaurate zu (ENGEL, 1954 in SIDHU et al., 2013). Entscheidenden Einfluss besitzt auch beim Filzabbau das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C:N-Verhältnis) KOLB (1990). Es bestimmt die mikrobielle Abbaugeschwin-

digkeit organischer Masse. Abbauehemmend wirken Lignine, eine Gruppe phenolischer Makromoleküle (MELILLO et al., 1989). Rasenfilz kann hohe Ligningehalte von bis zu 12 % Trockenmasse aufweisen. Sie können entweder auf hohe Ausgangs-Ligningehalte der Pflanzen oder auf das Ergebnis eines schnellen Abbaus der löslichen Kohlenhydrate und damit einer Akkumulation von Lignin zurückgeführt werden (LEDEBOER und SKOGLEY, 1967).

Die mikrobielle Aktivität von Rasenfilz, gemessen als Anteil mikrobiologischer Biomasse, ist im Gegensatz zur mikrobiellen Aktivität eines Rasentragschichtgemisches deutlich höher. Somit stellt Rasenfilz eine Kohlenstoffsenke dar (RATURI et al., 2011). Einige nichtspezifische Fungizide besitzen einen negativen Effekt auf die Zusammensetzung der mikrobiologischen Fauna, was zu einer signifikant höheren Rasenfilzaufgabe führen kann (DOMSCH und GAMS, 1969; DUBLE und WEAVER, 1974; MEINHOLD et al., 1973). Der Wirkstoff Polyhydroxyessigsäure einiger spezifischer Fungizide zeigte in einer Untersuchung von DUBLE und WEAVER (1974) jedoch keine negativen Auswirkungen auf die Abbaurate von organischer Masse und damit den Filz.

Häufige und starke Bewässerung von Rasenflächen kann tendenziell zu einer höheren Rasenfilzbildung führen (CHEN et al., 2018; ESPEVIG und AAMLID, 2012; FU und DERNOEDEN, 2009). Dies lässt sich auf wiederholt anaerobe Bedingungen in der Wurzelzone mit eingeschränkter Mikroorganismenaktivität und dadurch vermindertem Abbau von organischer Masse zurückführen. Nicht nur Nässe, sondern auch starke Trockenheit reduziert die mikrobielle Aktivität. Allerdings sind



Abb. 4: Ausstich aus einem Golfgrün mit geringer Filzschicht (Thatch), deutlichem Pflegehorizont und ausgeprägtem Übergangsbereich (Mat). Erkennbar sind darin die dunkelgrauen, anaeroben Bereiche.

in diesem Fall auch das Wachstum des Rasens und damit der für den Filzaufbau erforderliche Biomassezuwachs eingeschränkt (BEARD, 1973).

Grundsätzlich führt auch eine Abnahme des pH-Wertes und damit eine Verringerung der biologischen Aktivität zu einer Akkumulation von Rasenfilz (POTTER et al., 1985; SARTAIN, 1985; SMILEY und CRAVEN, 1978; WADDINGTON et al., 1974). SMILEY und CRAVEN (1978) stellten bei dreijähriger Versuchsdauer mit *Poa pratensis* L. einen signifikanten Zusammenhang zwischen absinkendem pH-Wert und steigender Rasenfilzdicke fest. SARTAIN (1985) zeigte, dass bei einer Absenkung des pH-Wertes auf Werte kleiner 4 die Rasenfilzbildung annähernd doppelt so hoch war, wie bei einem pH-Wert von 5. MARTIN und BEARD (1975) fanden bei Untersuchungen an Filz von *Festuca rubra* L. heraus, dass die mikrobielle Aktivität, gemessen an Hand der CO₂ Respiration, bei einem pH-Wert von 6 am höchsten war. In Untersuchungen von LEDEBOER und SKOGLEY (1967) und SMITH (1979) zeigte Kalkung jedoch weder in Gewächshausversuchen noch auf Putting-Grüns einen Einfluss auf die Filzbildung. Allerdings konnte SMITH (1979) im Versuchszeitraum auch keine Erhöhung des pH-Wertes durch eine oberflächliche Kalkung erreichen. KOLB (1990) hingegen gelang es auf einem 12 Jahre alten sogenannten „DIN-Sportplatz“, den pH-Wert durch Gaben von kohlenurem Kalk in Höhe von bis zu 2 x 200 kg/ha a⁻¹ von pH 5,8 auf bis zu pH 6,7 zu erhöhen. In Kombination mit mechanischen Maßnahmen und einer Umstellung der Düngung von ursprünglich physiologisch sauren Kurzzeitdüngern, auf organische und synthetische Langzeitdünger wurde dadurch innerhalb von zwei Jahren eine ursprünglich 35 mm starke Filzschicht um ca. 40 % reduziert.

Eine Erhöhung des pH-Wertes führt neben einer Steigerung der mikrobiellen Aktivität zu einem verstärkten Auftreten von Regenwürmern, welche einen wichtigen Anteil am Abbau von organischer Masse haben (POTTER et al., 1985). Die Steigerung der Populationsdichte von Regenwürmern erhöht die Durchmischung des Rasenfilzes mit dem anstehenden Boden oder der Rasentragschicht und dient zusätzlich dem Erhalt der Wasserinfiltration (EDMOND und COLES, 1958; POTTER et al., 1985; SARTAIN, 1985). Nachteilig sind jedoch die Auswirkungen ihrer Ausscheidungen auf den Pflege- und Spielbetrieb.

Der Einfluss des Schnittgutes auf die Rasenfilzbildung ist umstritten. MARTIN und BEARD (1975) gehen auf Grund des geringen Ligningehaltes im Schnittgut von einem zu vernachlässigbaren Einfluss des Schnittgutes auf die Rasenfilzbildung aus. Das Verbleiben von Bermudagrass-Schnittgut (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) auf der Fläche erhöhte jedoch in Freilandversuchen signifikant die Rasenfilzdicke und den Anteil an Lignin im Bereich oberhalb der Bodenoberfläche (MEINHOLD et al., 1973). Im gleichen Versuch konnte jedoch keine Zunahme des Rasenfilzes, gemessen als Trockenmasse, festgestellt werden. Hier wird wieder die Problematik der Messmethode deutlich. Versuche an *Poa pratensis* L. zeigten, dass der Verbleib des Schnittgutes auf der Rasenfläche ab einer berechneten Rasenfilzdicke von annähernd 1,25 cm zu einer Rasenfilzakkumulation führt. Bei geringerer Rasenfilzdicke hatte das Schnittgut keinen Einfluss auf die weitere Rasenfilzbildung (MURRAY und JUSKA, 1977).

Das Filzbildungspotenzial der Gräser ist arten- und sortenabhängig (BEARD, 1973). Bei den Warm Season Gräsern neigt vor allem *Cynodon dactylon* (L.) Pers., bei den Cool Season Gräsern neigen insbesondere *Agrostis stolonifera* L., *Poa pratensis* L. und *Agrostis capillaris* L. zu starker Filzbildung. Horstbildende Arten wie *Lolium perenne* L. und *Festuca arundinacea* Schreb. hingegen in geringerem Ausmaß (DANNEBERGER, 1993; TURGEON, 1996). Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Betrachtung der Sorten. So neigen Sorten mit ausgeprägter Ausläuferbildung besonders zum Filzaufbau. Dies zeigten die Untersuchung der Filzbildung einiger Sorten von *Poa pratensis* L. (CARLOS et al., 1973), von *Cynodon dactylon* (L.) Pers. (DUBBLE und WEAVER, 1974), sowie von *Agrostis stolonifera* L. (STIER und HOLLMAN, 2003). Die Autoren nennen als Ursache die unterschiedlichen Triebdichten und die Ausprägung des kriechenden Wachstums habitus der einzelnen Sorten.

Eigenschaften und Auswirkungen

Bei starker Ausprägung von Rasenfilz dringen die Wurzeln der Gräser kaum noch in den darunter liegenden Boden oder die Rasentragschicht ein. Der Filz stellt dann das zentrale Wachstumsmedium für die Gräser dar (HURTO et al., 1980; SKIRDE, 1974). Zu den Gründen gehören die wasser- und nährstoffspeichernden Eigenschaften, die hauptsächlich in der Porenstruktur des Filzes

zu suchen sind. Die Schwierigkeit von belastbaren Aussagen zur Porenstruktur besteht in der eingangs erwähnten großen Variabilität der organischen Masse, die unter dem Begriff Rasenfilz zusammengefasst wird. Darüber hinaus finden sich in der Literatur nur selten Angaben zur Belastung der Versuchsflächen mit ihrem Einfluss auf die Verdichtung des Filzes und damit seiner Porenstruktur. So stellten HURTO et al. (1980) auf schluffigem Lehm bei Filzstärken von 18-30 mm in Zusammenhang mit *Poa pratensis* L. einen hohen Anteil nicht kapillar wirkender Makroporen fest. Dabei war die Porosität von Rasenfilz höher als die des darunterliegenden Bodens. Die hohe Porosität der Rasenfilzschicht wird von NELSON et al. (1980) im Laborversuch bestätigt. Sie wird als Ursache für die niedrige Wasserspeicherfähigkeit und die dadurch beschleunigte Evaporation bzw. das beschleunigte Austrocknen einer lockeren Rasenfilzschicht genannt. Die vergleichsweise hohe Evaporation aus dieser Art Filz birgt die Gefahr erhöhter gasförmiger Stickstoffverluste, insbesondere bei leichtlöslichen Stickstoffdüngern (NELSON et al., 1980) und des Auftretens von Trockenschäden (MCCARTY et al., 2007).

CARROW (2004) beschreibt, dass unter Praxisbedingungen hingegen die ursprünglichen Makroporen des Rasenfilzes durch die Vermischung mit anorganischen Komponenten verschlossen werden. Dieser Effekt wird bereits bei Filz, gemessen als Anteil organischer Masse von 4-5 % TM, beschrieben (CARROW, 2004; MCCOY, 1992). Die anschließend wassergefüllten Poren beeinträchtigen den Gasaustausch und reduzieren somit den Sauerstoffgehalt im Boden. Die daraus resultierenden anaeroben Bedingungen führen zu einem Absterben der Wurzeln in der Grenzschicht zwischen Rasenfilz und anstehendem Substrat (CARROW et al., 1987; HARTWIGER, 2004). Deshalb soll Filz auch an der Entstehung von sogenanntem Black Layer beteiligt sein (CARROW, 2004; HARTWIGER, 2004).



Abb. 5: Hydrophobie in Filzschicht (Thatch) und Übergangszone (Mat) eines Golfgrüns.

Rasenfilz bzw. die Übergangszone bestehend aus akkumulierter organischer Substanz besitzen darüber hinaus nach dem Austrocknen hydrophobe Eigenschaften, die ein Wiederbefeuchten behindern (EDMOND und COLES, 1958). LIANG et al. (2017) beobachteten bei *Festuca rubra* L. und *Poa pratensis* L., dass bei trockenem Rasenfilz zu Beginn eines starken Niederschlages das Wasser nicht in den Boden eindringen kann, sondern von der Rasenfilzschicht zurückgehalten wird. Die genannten Eigenschaften dienen als Erklärung, warum die Wasserinfiltrationsrate von Rasenfilz zunächst gering ist (HURTO et al., 1980; LINDE et al., 1995; TAYLOR und BLAKE, 1982). Nach einiger Zeit liegt die Wasserinfiltrationsrate auf gleichem Niveau, wie die des darunterliegenden Bodens (LIANG et al., 2017). TAYLOR und BLAKE (1982) schlussfolgern, dass die bei gesättigtem Porenvolumen gemessene Wasserinfiltrationsrate nicht vom Rasenfilz beeinflusst wird.

Das Auftreten von Rasenfilz wirkt sich negativ auf die Winterhärte des Rasens aus. Jedoch resultiert diese Aussage nicht auf Ergebnissen wissenschaftlicher Versuche (BEARD, 1973; WHITE und DICKENS, 1984). Diese These wird dadurch unterstützt, dass in einer Untersuchung von EGGENS (1980) eine starke Rasenfilzaufgabe bei *Agrostis stolonifera* subsp. *palustris* (Huds.) zu einem erhöhten Winterschaden führte. Gleichzeitig nahm die Winterhärte durch mechanische Pflegemaßnahmen zur Filzreduktion, wie Aerifizieren und Vertikutieren, ab. Allerdings erhöhte das Besanden die Winterhärte, was mit einer reduzierten Verdunstung aufgrund des erhöhten mineralischen Anteils im Bereich um die Vegetationspunkte des Rasens begründet wird (BEARD, 1973; EGGENS, 1980). Gering ausgeprägtem Rasenfilz (kleiner 1,3 cm) wird eine temperaturregulierende Wirkung nachgesagt (MCCARTY et al., 2005). Ursache könnte der mit der geringen Dichte verbundene hohe Makroporenanteil sein, was zu Luft einschließen mit isolierenden Eigenschaften führt (HURTO et al., 1980). Rasenfilz erhöht die Oberflächenelastizität. Rasenflächen mit schwach ausgeprägter Rasenfilzschicht weisen aufgrund dieser Elastizität eine erhöhte Strapazierfähigkeit und ein verbessertes Ballsprungverhalten auf (HURTO et al., 1980; SKIRDE, 1974). Stärkere Filzschichten führen zu einem geringeren Wurzeltiefgang (HURTO et al., 1980; SKIRDE, 1974) und damit zum Verlust der Strapazierfähigkeit. Außer-

dem bergen sie beim Mähen die Gefahr des Skalpierens der Rasennarbe (BEARD, 1973; WADDINGTON et al., 1974). Hierzu fehlen jedoch belastbare wissenschaftliche Untersuchungen. WHITE und DICKENS (1984) beobachten zwar bei einer Schichtstärke von mehr als 20 mm Rasenfilz ein verstärktes Skalpieren in allen Parzellen ihres Versuchs. Es erfolgte jedoch kein Vergleich mit einer Kontrolle ohne oder mit weniger Filz, wenngleich nachgewiesen wurde, dass Vertikutieren im Vergleich zu anderen Managementmethoden gegen Rasenfilz die Gefahr des Skalpierens reduziert (WHITE und DICKENS, 1984). MCCARTY et al. (2007) bonitierten in ihrer Untersuchung das Skalpieren nicht als Einzelmerkmal, sondern ließen es in die Bewertung der Narbenqualität mit einfließen. Die Tatsache, dass die Variante mit stärkerer Filzaufgabe eine deutliche reduzierte Narbenqualität aufwies, legt den Schluss nahe, dass dies neben von den Autoren erwähnten Trockenstellen auch auf Skalpierschäden durch das Mähen zurückzuführen ist (MCCARTY et al., 2007).

Rasenfilz beherbergt zahlreiche Krankheitserreger. Im Allgemeinen wird deshalb mit zunehmender Filzschicht von einer höheren Krankheitsanfälligkeit der Rasennarbe ausgegangen (ANONYMUS, 2011; BEARD, 1973). Der unmittelbare Einfluss von Rasenfilz auf den Krankheitsbefall und die Krankheitsanfälligkeit der Gräser lässt sich an Hand systematischer wissenschaftlicher Untersuchungen jedoch nur schwer belegen, da meist eine Kombination von Maßnahmen zur Filzbekämpfung untersucht wurden (MURRAY und JUSKA, 1977; MYERS et al., 1992). MYERS et al. (1992) zeigten sogar, dass das mechanische Entfernen von Rasenfilz durch Vertikutieren die Anfälligkeit der Gräser gegenüber der Dollarfleckenkrankheit (*Sclerotinia homoeocarpa* F.T. Benn.) erhöhen und eine Anregung des Wurzelwachstums durch mechanische Maßnahmen das Risiko eines Nematodenbefalls steigern kann.

Rasenfilz senkt den Feldaufgang von Rasensaatgut bei Übersaat, insbesondere aufgrund des fehlenden Bodenanschlusses und dem schnellen Austrocknen des Keimlings (SCHMIDT und SHOULDERS, 1972).

Rasenfilz hat einen negativen Einfluss auf die biologische Wirksamkeit von Herbiziden, Insektiziden und Fungiziden (HALISKY et al., 1981; HURTO und TURGEON, 1979; NIEMCZYK, 1977).

HURTO und TURGEON (1979) zeigten, dass der von *Poa pratensis* L. gebildete Rasenfilz nichtselektive Herbizide, wie Glyphosat und Paraquat adsorbiert, was sich in erhöhten Aufwandmengen niederschlägt. Darüber hinaus kann Rasenfilz den Austrag von Pflanzenschutzmitteln in darunterliegende Schichten verhindern (HORST et al., 1996).

In Rasenfilz kann gegenüber dem darunterliegenden Substrat ein erhöhter Stickstoffgehalt nachgewiesen werden (NELSON et al., 1980; RATURI et al., 2011). So kam es auch bei der Beobachtung von einem mehr als drei Jahren alten Putting Grün in USGA-Bauweise zu einer Akkumulation von Nährstoffen in der Rasenfilzschicht (MCCLELLAN et al., 2007). Das primäre Wurzelwachstum findet bei starker Ausprägung hauptsächlich in der Filzschicht statt, was den Effekt einer verstärkten Wasserrückhaltung im Rasenfilz zur Folge hat (LINDE et al., 1995). Damit wird der Rasenfilz zur eigentlichen Vegetationszone und zum Hauptwurzelbereich der Gräser (HURTO et al., 1980; SKIRDE, 1974)

Gegenmaßnahmen

Die Reduktion von Rasenfilz verfolgt aufgrund der unterschiedlichen Ursachen mehrere Ansätze. Neben der mechanischen Entfernung von Rasenfilz ist die Schaffung optimaler Bedingungen für den mikrobiologischen Abbau von organischer Masse wichtig (BEARD, 1973). In erster Linie gehört dazu vor allem die Schaffung eines für die Mikroorganismenaktivität optimalen pH-Wertes von ungefähr pH 6 durch den Einsatz alkalisch wirkender Düngemittel und gegebenenfalls zusätzlicher Kalkgaben (BEARD, 1973; BEARD, 1975; MARTIN und KOLB, W., 1990; SKIRDE, 1974).

Mechanische Maßnahmen gegen Rasenfilz sind ein wesentlicher Bestandteil der Pflegemaßnahmen von Rasenflächen. Hierzu gehören vor allem Striegeln, Vertikutieren und Aerifizieren mit Bodenaustausch. Die nachfolgenden Untersuchungen verwenden unterschiedliche Messmethoden für Rasenfilz und wurden auf verschiedenen Substraten durchgeführt, was ihre Vergleichbarkeit und Aussagekraft erschwert. Es zeigte sich, dass eine ausreichende Dauer des Untersuchungszeitraums von zentraler Bedeutung ist, um belastbare und signifikante Unterschiede zu beobachten.

SMITH (1979) und ATKINSON und MCCARTY (2014) fanden in ihren Untersuchungen keinen Einfluss von Aerifiziermaßnahmen auf die Rasenfilzdicke, unabhängig von deren Intensität und Häufigkeit. MURRAY und JUSKA (1977) hingegen konnten zwar in einer Langzeituntersuchung mit *Poa pratensis* L. auf Oberboden während der ersten fünf Jahre keine Unterschiede zwischen Parzellen mit mechanischer Maßnahmen und der Kontrolle nachweisen, ab dem sechsten Jahr jedoch wurden bei den Varianten Vertikutieren und Aerifizieren signifikant niedrigere Filz-Trockenmassen gemessen. Darüber hinaus führten CALLAHAN et al. (1998) eine Langzeitstudie auf einer nach USGA aufgebauten Fläche mit *Agrostis stolonifera* subsp. *palustris* (Huds.) zur Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Pflegemaßnahmen auf Rasenfilz durch. Die Rasenfilzdicke wurde dabei mittels Lineal, Glühverlustmethode und Thatchmeter bestimmt. Der sechsjährige Versuch zeigte während der ersten drei Jahre, dass, verglichen mit der Kontrolle, insbesondere ein Besanden die Rasenfilzdicke signifikant reduziert. Vierteljährliches Vertikutieren in Verbindung mit vierteljährlichem Aerifizieren mit Hohlspoons wies die geringste Rasenfilzaufgabe auf. Die Erhöhung der Besandungsfrequenz auf bis zu 6 x pro Jahr (mit jeweils 0,35 m³/100 m²), reduzierte die Rasenfilzaufgabe des Grünaufbaus signifikant, unabhängig von maschinellen Pflegemaßnahmen (CALLAHAN et al., 1998).



Abb. 6: Durch in größeren zeitlichen Abständen starkes Besanden begrabene Filzschichten eines Golfgrüns.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten auch andere Autoren (CARROW et al., 1987; EGGENS, 1980; MCCARTY et al., 2005; MURRAY und JUSKA, 1977). Bodenbearbeitung mit Hochdruckwasserinjektion zeigte in einer Untersuchung von MURPHY und RIEKE (1994) im Vergleich zum Aerifizieren die Tendenz, Rasenfilz stärker zu reduzieren während Aerifizieren zusätzlich die Wasserinfiltration erhöht (MCCARTY et al., 2005). Sogenanntes Tiefenvertikutieren führt neben der Filzreduktion

zu einer Verbesserung der Grasnarbe durch die Förderung des Gasaustauschs (MCCARTY et al., 2007). Schlitzende Bodenbearbeitung verringerte im Laufe von fünf Jahren den Rasenfilz von *Cynodon dactylon* (L.) Pers. um 12-18 % TM (DUNN et al., 1994).

Die Höhe der Stickstoffdüngung zeigt keinen wissenschaftlich nachweisbaren Einfluss auf die Rasenfilzbildung. Erst ab einer sehr hohen Aufwandmenge von jährlich 75 g/m² Rein-N konnte eine deutliche Zunahme der Filzbildung festgestellt werden (CARROW et al., 1987; EGGENS, 1980; MEINHOLD et al., 1973; SMITH, 1979). Entscheidender scheint die Art des Düngemittels zu sein, da physiologisch sauer wirkende Stickstoffdünger zu einer Absenkung des pH-Wertes im Boden führen, was den Abbau organischer Masse verlangsamte (SKIRDE, 1974). Die langjährige Düngung mit physiologisch sauer wirkenden Stickstoffdüngern, wie Ammoniumsulfat, führt zu einer Absenkung des pH-Wertes und damit zu einem signifikanten Anstieg der Rasenfilzakkumulation (EDMOND und COLES, 1958; POTTER et al., 1985; SMITH, 1979)

Der Einsatz von Kalk auf Rasenflächen soll unter anderem ein für die Lignin abbauenden Mikroorganismen günstiges Milieu schaffen. MURRAY und JUSKA (1977) beobachteten eine signifikant geringere Rasenfilzdicke, wenn durch Kalkung ein niedriger pH-Wert des Bodens angehoben wurde. Wenn die pH-Werte jedoch bereits über pH 6 lagen, konnte keine Reduktion des Rasenfilzes festgestellt werden (CALLAHAN et al., 1998; LEDEBOER und SKOGLEY, 1967; SMITH, 1979).

Eine zusätzliche Kaliumdüngung besitzt keinen Einfluss auf die Rasenfilzdicke (CALLAHAN et al., 1998).

Organische Dünger sollen unter bestimmten Umständen das Bodenleben anregen und den Filzabbau regulieren können. So führte der Einsatz von hitzegetrocknetem Klärschlamm aus der biologischen Reinigungsstufe von Klärwerken in einer Untersuchung von MEINHOLD et al. (1973) zu einer Reduktion des Rasenfilzes. Dieses Ergebnis konnte jedoch in einem Langzeitversuch von MURRAY und JUSKA (1977) nicht bestätigt werden. In diesem Fall kam es durch den Einsatz des Klärschlammes sogar zu einer signifikant höheren Rasenfilzdicke.

Einigen Bodenhilfsstoffen werden in der praktischen Rasenpflege filzregu-

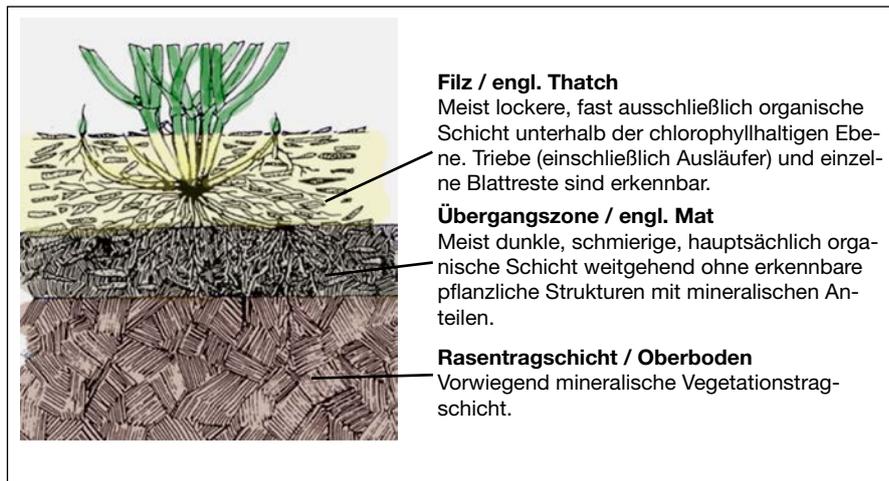


Abb. 7: Schematisches Rasenprofil mit der Schichtenfolge (von oben): Grüne Vegetationsschicht, Filzschicht (Thatch), Übergangszone (Mat) und Rasentragschicht (TURGEON, 1996, verändert).

lierende Eigenschaften nachgesagt. So sollen „Surfactants“ zur Verbesserung der Wasserinfiltration einen Einfluss auf die Rasenfilzdynamik besitzen. Versuche von MURRAY und JUSKA (1977) zeigten, dass nicht-ionische Wetting Agents die Rasenfilzbildung nicht signifikant erhöhen, da Wasser schneller in den Rasenfilz eindringen kann, dieser aber durch die grenzflächenaktiven Substanzen auch schneller wieder austrocknet. Der abrupte Verlust der Feuchtigkeit unterbricht dabei den Abbau organischer Masse (CALLAHAN et al., 1998).

In einem Gewächshausversuch wurde darüber hinaus der Einsatz von Enzymen zum Filzabbau untersucht. Dazu wurden Laccasen pilzlicher Herkunft, die die Eigenschaft besitzen Lignin aufzuschließen, alle zwei Wochen in hohen Dosen appliziert, was zu einer signifikanten Abnahme des Ligningehaltes im Rasenfilz geführt hat (SIDHU et al., 2013).

Die vorliegende Literaturstudie verdeutlicht, einmal mehr, wie wichtig eine einheitliche präzise Definition von Rasenfilz zur hochauflösenden Festlegung der Probereiche ist und wie wichtig einheitliche vergleichbare Methoden sind. Sie zeigt darüber hinaus die Schwierigkeiten auf, die beim Vergleich der Ergebnisse von Versuchen unter Praxisbedingungen mit denen wissenschaftlicher Feldversuche ohne Belastung oder reiner Laborversuchen entstehen. Darüber hinaus wird von einigen Autoren persönliche Erfahrung mit wissenschaftlichen Ergebnissen gemischt, was die Interpretation erschwert. Deshalb bleiben trotz zahlreicher Publikationen zum Thema Rasenfilz nach wie vor noch viele Fragen offen.

Literatur

- ANONYMUS, 2011: Turfgrass Disease Identification Guide for Golf. Syngenta Crop Protection. http://www.syngentacropprotection.com/assets/assetlibrary/syngenta_diseaseid_guide.pdf. Aufgerufen am 25.02.2019.
- ATKINSON, J. and B. MCCARTY, 2014: Finding the balance – Core aeration affects turf health, soil physical properties and the playability of golf course greens. Golf course management 1, S. 140-148.
- BARTON, L., G.G.Y. WAN, R.P. BUCK and T.D. COLMER, 2009: Effectiveness of Cultural Thatch-Mat Controls for Young and Mature Kikuyu Turfgrass. Agronomy Journal 101 (1), S. 67-74.
- BEARD, J.B., 1973: Turfgrass: Science and culture. Prentice-Hall Inc.: Englewood Cliffs, NJ. 658.
- CALLAHAN, L.M., W.L. SANDERS, J.M. PARHAM, C.A. HARPER, L.D. LESTER and E.R. MCDONALD, 1997: Comparative Methods of Measuring Thatch on a Creeping Bentgrass Green. Crop Science 37 (1), S. 230-234.
- CALLAHAN, L.M., W.L. SANDERS, J.M. PARHAM, C.A. HARPER, L.D. LESTER and E.R. MCDONALD, 1998: Cultural and Chemical Controls of Thatch and Their Influence on Rootzone Nutrients in a Bentgrass Green. Crop Science 38 (1), S. 181-187.
- CARROW, R.N., B.J. JOHNSON and R.E. BURNS, 1987: Thatch and Quality of Tifway Bermudagrass Turf in Relation to Fertility and Cultivation. Agronomy Journal 79 (3), S. 524-530.
- CARROW, R.N., 2004: Surface organic matter in bentgrass greens. USGA Green Section Record. 1-2 (2004) S 11-15.
- CARLOS, W.J., R. DAVIS and W.S. JOHNSON, 1973: Controlling and Preventing Thatch. Fact Sheet 4, S.1-4.
- CHEN, Y., T. PETTERSEN, A. KVALBEIN and T.S. AAMLID, 2018: Playing quality, growth rate, thatch accumulation and tolerance to moss and annual bluegrass invasion as influenced by irrigation strategies on red fescue putting greens. J Agro Crop Sci 204 (2), S. 185-195.
- DANNEBERGER, T.K., 1993: Turfgrass Ecology and Management. Franzak & Foster G.I.E. Inc., Cleveland, OH, 201 S.
- DOMSCH, K.H. and W. GAMS, 1969: Variability and potential of a soil fungus population to decompose pectin, xylan and carboxymethyl-cellulose. Soil Biology and Biochemistry 1 (1), S. 29-36.

- DUBLE, R.L. and R.W. WEAVER, 1974: Thatch decomposition in bermudagrass turf. In: Proceedings of the Second International Turfgrass Research Conference: ed. Roberts, E.C. American Society of Agronomy, Madison, WI. S. 445-451.
- DUNN, J.H., D.D. MINNER, B.F. FRESBURG and S.S. BUGHRARA, 1994: Bermudagrass and Cool-Season Turfgrass Mixtures. Response to Simulated Traffic. *Agronomy Journal* 86 (1), S. 10-16.
- EDMOND, D.B. and S.T.J. COLES, 1958: Some long-term effects of fertilisers on a mown turf of browntop and Cheving's fescue. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 1 (5), S. 665-674.
- EGGENS, J.L., 1980: Thatch control on creeping bentgrass turf. *Can. J. Plant Sci.* 60 (4), S. 1209-1213.
- EN 12232:2003 Sportböden – Bestimmung der Filzdicke bei Naturrasen; Deutsche Fassung, Beuth Verlag GmbH, Berlin. 5 S.
- ENGEL, R.E., 1954: Thatch on turf and its control. *Golf Course Rep* 22 (5), S. 12-14 in SIDHU, S.S., HUANG, Q., CARROW, R.N. and RAYMER, P.L., 2013: Efficacy of Fungal Laccase to Facilitate Biodethatching in Bermudagrass and Zoysiagrass. *Agronomy Journal* 105 (4), S. 1247-1252.
- ESPEVIG, T. and T.S. AAMLID, 2012: Effects of root zone composition and irrigation regime on performance of velvet bentgrass putting greens. II. Thatch, root development and playability. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 62 (sup1), S. 106-112.
- FU, J. and P.H. DERNOEDEN, 2009: Creeping bentgrass putting green turf responses to two irrigation practices. Quality, chlorophyll, canopy temperature, and thatch mat. *Crop Science* 49 (3), S. 1071-1078.
- HALISKY, P.M., R.F. MYERS and R.E. WAGNER, 1981: Relationship of thatch to nematodes, dollar spot and fungicides in Kentucky bluegrass turf. Proceeding of the Fourth International Turf Research Conference, Guelph, Canada, S. 415-420.
- HARTWIGER, C., 2004: The importance of organic matter dynamics. *USGA Green Section Record* 42 (3), S. 9-11.
- HORST, G.L., P.J. SHEA, N. CHRISTIANS, N., D.R. MILLER, C. STUEFER-POWELL and S.K. STARRETT, 1996: Pesticide Dissipation under Golf Course Fairway Conditions. *Crop Science* 36 (2), S. 362-370.
- HURTO, K.A. and A.J. TURGEON, 1979: Effect of Thatch on Residual Activity of Nonselective Herbicides Used in Turfgrass Renovation. *Agronomy Journal* 71 (1), S. 66-71.
- HURTO, K.A., A.J. TURGEON and L.A. SPOMER, 1980: Physical Characteristics of Thatch as a Turfgrass Growing Medium. *Agronomy Journal* 72 (1), S. 165-167.
- KOLB, W., 1990: Beobachtungen zur Abbaurate von Filzaufgaben auf einem DIN-Sportplatz. *Rasen-Turf-Gazon* 21: S. 32-34.
- LEDEBOER, F.B. and C.R. SKOGLEY, 1967: Investigations into the Nature of Thatch and Methods for its Decomposition. *Agronomy Journal* 59 (4), S. 320-323.
- LI, D., J. HENDERSON, J. T. VANINI and J. N. ROGERS, 2013: Research Tools and Technologies for Turfgrass Establishment. *Agronomy Monograph* 56, S.1189-1239.
- LIANG, X., D. SU, Z. WANG and X. QIAO, 2017: Effects of Turfgrass Thatch on Water Infiltration, Surface Runoff, and Evaporation. *Journal of Water Resource and Protection* 09 (07), S. 799-810.
- LINDE, D.T., TH.L. WATSCHKE, A.R. JARRETT and J.A. BORGER, 1995: Surface Runoff Assessment from Creeping Bentgrass and Perennial Ryegrass Turf. *Agronomy Journal* 87 (2), S. 176-182.
- MANCINO, C.F., M. BARAKAT and A. MARICIC, 1993: Soil and thatch microbial populations in an 80% sand 20% peat creeping bentgrass putting green. *HortScience* 28 (3), S. 189-191.
- MARTIN, D.P. and J.B. BEARD, 1975: Procedure for Evaluating the Biological Degradation of Turfgrass Thatch. *Agronomy Journal* 67 (6), S. 835-836.
- MCCARTY, L.B., M.F. GREGG and J.E. TOLER, 2007: Thatch and Mat Management in an Established Creeping Bentgrass Golf Green. *Agronomy Journal* 99 (6), S. 1530-1537.
- MCCARTY, L.B., M.F. GREGG, J.E. TOLER, J.J. CAMBERATO and H.S. HILL, 2005: Minimizing Thatch and Mat Development in a Newly Seeded Creeping Bentgrass Golf Green. *Crop Science* 45 (4), S. 1529-1535.
- MCCLELLAN, T.A., R.C. SHEARMAN, R.E. GAUSSOIN, M. MAMO, C.S. WORTMANN, G.L. HORST and D.B. MARX, 2007: Nutrient and Chemical Characterization of Aging Golf Course Putting Greens. *Crop Science* 47 (1), S. 193-199.
- MCCOY, E.L., 1992: Quantitative Physical Assessment of Organic Materials Used in Sports Turf Rootzone Mixes. *Agronomy Journal* 84 (3), S. 375-381.
- MEINHOLD, V.H., R.L. DUBLE, R.W. WEAVER and E.C. HOLT, 1973: Thatch Accumulation in Bermudagrass Turf in Relation to Management. *Agronomy Journal* 65 (5), S. 833-835.
- MELILLO, J.M., J.D. ABER, A.E. LINKINS, A. RICCA, B. FRY and K.J. NADELHOFFER, 1989: Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum. Plant litter to soil organic matter. *Plant Soil* 115 (2), S. 189-198.
- MURPHY, J.A. und P.E. RIEKE, 1994: High Pressure Water Injection and Core Cultivation of a Compacted Putting Green. *Agronomy Journal* 86 (4), S. 719-724.
- MURRAY, J.J. and F.V. JUSKA, 1977: Effect of Management Practices on Thatch Accumulation, Turf Quality, and Leaf Spot Damage in Common Kentucky Bluegrass. *Agronomy Journal* 69 (3), S. 365-369.
- MYERS, R.F., R.E. WAGNER and P.M. HALISKY, 1992: Relationship between Cultural Factors and Nematodes on Merion Kentucky Bluegrass. *Journal of nematology* 24 (1) S. 205-211.
- NELSON, K.E., A.J. TURGEON and J.R. STREET, 1980: Thatch Influence on Mobility and Transformation of Nitrogen Carriers Applied to Turf. *Agronomy Journal* 72 (3), S. 487-492.
- NIEMCZYK, H.D., 1977: Thatch-a barrier to control of soil-inhabiting insect pests of turf. *Weeds, Trees and Turf* 16 (2), S. 16-19.
- PETROVIC, A.M, 1990: The Fate of Nitrogenous Fertilizers Applied to Turfgrass. *Journal of Environment Quality* 19 (1), S. 1-14.
- POTTER, D.A., B.L. ABRIDGES and F.C. GORDON, 1985: Effect of N Fertilization on Earthworm and Microarthropod Populations in Kentucky Bluegrass Turf. *Agronomy Journal* 77 (3), S. 367-372.
- RATURI, S., K.R. ISLAM, M.J. CARROLL and R.L. HILL, 2011: Thatch and Soil Characteristics of Cool- and Warm-Season Turfgrasses. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 35 (15-16), S. 2161-2176.
- RIEM VIS, F., 1981: Accumulation and decomposition of organic matter under sports turf. In Sheard, R.W. (ed.) *Proc. 4th Int. Turfgrass Res. Conf.*, Guelph, ON, Canada.
- SARTAIN, J.B., 1985: Effect of Acidity and N Source on the Growth and Thatch Accumulation of Tifgreen Bermudagrass and on Soil Nutrient Retention. *Agronomy Journal* 77 (1), S. 33-36.
- SCHMIDT, R.E. and J.F. SHOULDERS, 1972: Winter Turf Development on Dormant Bermudagrass as Influenced by Summer Cultivation and Winter N Fertilization. *Agronomy Journal* 64 (4), S. 435-437.
- SHADDOX, T.W., and J.B. UNRUH, 2019: Correlating Methods of Measuring Zoysiagrass Thatch. *Crop Science* 59 (2), S. 1-8.
- SIDHU, S.S., Q. HUANG, R.N. CARROW and P.L. RAYMER, 2013: Efficacy of Fungal Laccase to Facilitate Biodethatching in Bermudagrass and Zoysiagrass. *Agronomy Journal* 105 (4), S. 1247-1252.
- SKIRDE, W., 1974: Ergebnisse zur Narbenfilzhäufung (thatch) bei Rasenflächen. *Rasen-Turf-Gazon* 5: S. 105-109.
- SMILEY, R.W. and M.M. CRAVEN, 1978: Fungicides in Kentucky Bluegrass Turf. Effects on Thatch and pH. *Agronomy Journal* 70 (6), S. 1013-1019.
- SMITH, G.S., 1979: Nitrogen and Aerification Influence on Putting Green Thatch and Soil. *Agronomy Journal* 71 (4), S. 680-684.
- SNYDER, G.H. and J.L. CISAR, 1995: Mobility and Persistence of Pesticides Applied to a USGA Green. III: Organophosphate Recovery in Clippings, Thatch, Soil, and Percolate. *Crop Science* 36 (1), S.1433-1438.
- STIER, J.C. and A.B. HOLLMAN, 2003: Cultivation and Topdressing Requirements for Thatch Management in A and G Bentgrasses and Creeping Bluegrass. *HortScience* 38 (6), S. 1227-1231.
- TAYLOR, D.H. and G.R. BLAKE, 1982: The Effect of Turfgrass Thatch on Water Infiltration Rates. *Soil Science Society of America Journal* 46 (3), S. 616-619.
- TURGEON, A.J., 1996: Turfgrass management. 4. ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J.: 406 S.
- WADDINGTON, D.V., T.L. ZIMMERMAN, G.J. SHOOP, L.T. KARLOS and J.M. DUICH, 1974: Soil modification for turfgrass areas. I. Physical properties of physically amended soils. *Pennsylvania Agricultural Experimental Station Progress Report* 337.
- VOLK, G.M., 1972: Compressibility of Turf as a Measure of Grass Growth and Thatch Development on Bermudagrass Greens. *Agronomy Journal* 64 (4), S. 503-506.
- WHITE, R.H. and R. DICKENS, 1984: Thatch Accumulation in Bermudagrass as Influenced by Cultural Practices. *Agronomy Journal* 76 (1), S. 19-22.

Danksagung

Die vorliegende Literaturstudie wurde vorbereitend zum Projekt „RoboFilz“ erstellt. Das mehrjährige Projekt am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, das den Einfluss von Mährobotern auf die Filzbildung bei Rasenspielfeldern untersuchen soll, wird vom Fördererkreis Landschafts- und Sportplatzbauliche Forschung e.V. (FLSF) begleitet und finanziell unterstützt.

Autoren:

M.sc. Bastian Stürmer-Stephan
 Dr. sc. agr. Jörg Morhard
 Universität Hohenheim
 Institut für Agrartechnik
 Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Pflanzenproduktion
 (Leitung: Prof. Dr. H. W. Griepentrog),
 Garbenstraße 9
 70599 Stuttgart
 joerg.morhard@uni-hohenheim.de