

# Untersuchungen zur pneumatischen Bodenpflege auf Tiefschnittrassenflächen

Breloh, L. und J. Morhard

## Zusammenfassung

Obwohl der Einsatz von Druckluft zur Lockerung verdichteter Pflanzenstandorte bereits seit langem bekannt ist, fehlte es bis 2016 an kontinuierlich arbeitenden, leistungsfähigen Geräten für Intensivrasenflächen. 2018 stellte die Novokraft AG, mit Sitz in der Schweiz, den airtter® light 14160, eine Weiterentwicklung dieser ersten Geräte vor. Für den vorliegenden Beitrag wurden die Wirksamkeit sowie die Nachhaltigkeit einer pneumatischen Bodenbearbeitungsmaßnahme mit einem airtter® light 14160 auf zwei Golfgrüns unterschiedlicher Bauweise untersucht. Während des 5-wöchigen Beobachtungszeitraums wurden der Eindringwiderstand, die Wasserinfiltrationsrate, die Grünsgeschwindigkeit, sowie der Schnittgut-anfall bearbeiteter und unbearbeiteter Bereiche der Grüns gemessen.

Die Bearbeitung führte zunächst zu einer deutlichen Reduktion des Eindringwiderstandes in einer Größenordnung von 10 bis 30 %, bezogen auf die Profiltiefe beider Grüns, um im Laufe des Beobachtungszeitraums wieder abzunehmen. Bis Woche 3 nach der Bearbeitung konnte immer noch ein im Vergleich zu den unbearbeiteten Bereichen geringerer Eindringwiderstand festgestellt werden. In Woche 4 war weitgehend der Ausgangszustand wieder erreicht. Ähnlich verhielt es sich mit der Wasserinfiltrationsrate. Nach einer anfänglichen Verbesserung um mehr als 30 % durch die Bearbeitungsmaßnahme, waren in Woche 4 die Werte der unbearbeiteten Kontrolle nahezu wieder erreicht. Die Ballrolldistanz bzw. Grünsgeschwindigkeit erhöhten sich nur für die Zeit unmittelbar nach der Bearbeitung um etwas mehr als 20 %. In Woche 4 nach der Bearbeitung wurde der Wiederaufwuchs innerhalb von 24 Stunden über den Schnittgut-anfall beim regulären Grünsschnitt erfasst. Dabei zeigten die bearbeiteten Bereiche der Grüns Werte, die um etwas mehr als 20 % über denen der Kontrolle lagen.

## Summary

Although the use of compressed air to loosen the compacted soil on a plant location is known for a long time, there was until 2016 no continuously operating high capacity machines for an intensive maintenance of turf surfaces. In 2018 Novokraft AG, headquartered in Switzerland, presented the airtter® light 14160, a technical improvement of the first machine. For the present article the efficiency and sustainability of a pneumatic soil tillage machine, the airtter® light 14160, were tested on two very different greens. During an observation period of five weeks the penetration resistance as well as the water infiltration rate, the grass growth speed and the quantity of swathe wastes were measured on a tilled areas and an untilled one.

At first, the tillage resulted in an important reduction of the penetration resistance of about 10 to 30 %, depending on the profile of both greens. It was still possible to observe a slight penetration resistance until the third week after the tillage, when compared to the resistance of the untilled area. In the fourth week, the initial state was reached again. It was the same for the water infiltration rate. After an amelioration of more than 30 % at the beginning thanks to the soil tillage, the initial rates were practically reached again in the fourth week on the untilled area. The rolling distance of the ball or its speed on the green were improved of about 20 % thanks to the roller of the airtter® only for a short moment after the tillage. In the fourth week after the tillage, the grass grown within 24 hours on the swathe wastes was cut. These tilled areas were up to 20 % over those of the control areas.

## Résumé

Quoiqu'on utilise depuis longtemps l'air comprimé pour ameublir les sols cultivés, il n'existait jusqu'en 2016 aucune machine assez puissante pour préparer les sols gazonnés en continu. Ce n'est qu'en 2018 que la société Novokraft AG, établie en Suisse, a présenté son airtter® light 14160, un perfectionnement technique des premières machines. Dans cet article on a analysé l'efficacité et la durabilité d'un engin pneumatique permettant la préparation des sols sur deux courts de golf gazonnés très différents, le airtter® light 14160. Durant une période d'observation de cinq semaines on a mesuré la résistance à la pénétration, le taux d'infiltration d'eau, la vitesse de pousse du gazon ainsi que la quantité d'herbe coupées sur respectivement une zone traitée d'une part et d'autre part une zone non traitée de chacun des courts.

Ce traitement a tout d'abord révélé une nette réduction de la résistance à la pénétration, de l'ordre de 10 à 30 % en tenant compte du profil des greens, réduction qui de nouveau a décliné durant la période d'observation. On y a par ailleurs observé jusqu'à la troisième semaine de traitement une résistance à la pénétration moindre sur la zone non traitée. Dans la quatrième semaine on était revenu à l'état initial. Il en est de même pour le taux d'infiltration de l'eau. Dans la quatrième semaine, après une amélioration de plus de 30 % suite au traitement, le taux dans la zone de contrôle non traitée avait de nouveau atteint sa valeur initiale. Tout de suite après le traitement la distance parcourue par la balle ou sa vitesse sur le green ont augmenté d'environ 20 % grâce au rouleau du airtter®. Dans la semaine suivant le traitement on a mesuré la repousse du gazon durant 24 heures en tenant compte de la quantité d'herbes coupées. On a ainsi constaté que dans les zones des greens traitées les taux se sont améliorés de 20 % par rapport aux zones de contrôle.

## Einleitung

Die technische Lockerung verdichteter Rasenflächen erfolgt in der Regel durch mechanische Verfahren. Hydraulische oder pneumatische Verfahren wurden bislang nur vereinzelt eingesetzt. Bei diesen Verfahren wird zwischen Luft-, Flüssigkeits-, und Zweistoffinjektoren unterschieden. Sie besitzen gegenüber den meisten mechanischen Lockerungsverfahren den Vorteil, dass die Grasnarbe oder Rasenoberfläche meist nur geringfügig gestört wird und der Spielbetrieb nach Beendigung der Arbeiten unmittelbar fortgesetzt werden kann (BISHOP, 1990; CARROW, 1993). Darüber hinaus können durch Zweistoffinjektoren Flüssigkeiten oder in Lösung befindliche Feststoffe in den Boden oder die Rasentragschicht eingebracht werden. Bislang wurde dabei das Hauptaugenmerk vor allem auf die Injektion von Verbauungsmaterialien, Bodenhilfsstoffen, immobilen Nährstoffen und Pflanzenschutzmitteln gerichtet. Zunehmend komplexere Aufbauten, beispielsweise mit oberflächennah verlegten unterirdischen Heizungs- oder Bewässerungseinrichtungen oder bestimmte Arten sogenannter Hybridrasensysteme erschweren jedoch eine rein mechanische Bodenpflege oder machen sie sogar unmöglich. Deshalb ist mit einer zunehmenden Verbreitung insbesondere pneumatischer Verfahren zu rechnen.

Die Überlegungen zur pneumatischen Lockerung pflanzenbaulich genutzter Böden reichen nachweislich bis in die 1920er Jahre zurück (MCEWEN, 1929). Kritisch beäugt von Fachwelt und Wissenschaft haben in den 1980er Jahren diverse Einzellanzen-Geräten zur Lockerung von Baumscheiben an Verbreitung gewonnen (ZINCK, 1982; ZINCK, 1984; SIEBERT und WEIGANDT, 1989; SMILEY, 1990; SCHNEIDER, 1999; LIST und ROSS, 1986; FITE et al., 2011). Das bekannteste dabei ist sicher das Terralift-Gerät. Heute ist eine überschaubare Anzahl an Geräten einzelner, stark spezialisierter Hersteller auf dem Markt. Einzellanzengeräte können zwar die Rasentragschicht lockern, allerdings sind durch die konstruktionsbedingte unzureichende Abstützung im Einstichbereich nicht tolerierbare Aufwerfungen und Kraterbildungen an der Oberfläche zu beobachten. Aus diesem Grund und wegen mangelnder Flächenleistung, sind herkömmliche Handgeräte mit nur einer Lanze zur Lockerung hochwertiger Rasenflächen nicht geeignet. Aus diesem Grund wurden Geräte mit

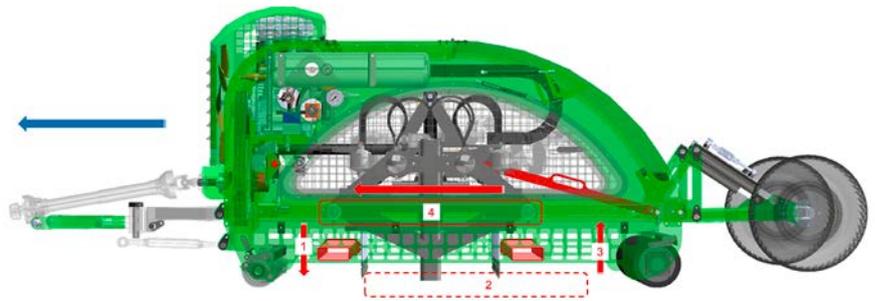


Abb. 1: Arbeitsweise des airtex® light 14160, schematisch

(Abbildung: Novokraft, verändert).

mehreren Injektionslanzen und einer wirkungsvollen Abstützung des Gerätegewichts auf den Einstichbereich der Injektionslanzen entwickelt. Dadurch wird der Erhalt der Ebenflächigkeit sichergestellt. Eines dieser Geräte, das sogenannte Aerragreen-Gerät, ein Mitglied der Terralift-Familie, kam 1997 auf den Markt (LABBANCE, 1997). Ein in Bezug auf das Grundprinzip und die absätzig Arbeitsweise vergleichbares Gerät wird aktuell unter dem Namen Air2G2 vertrieben. Obwohl bereits seit längerem auch Überlegungen zu kontinuierlich arbeitenden Maschinen bekannt sind (PENDERGRASS, 1993), wurden zur Lockerung des Bodenaufbaus von Rasenflächen durch Druckluft lange Zeit nur diskontinuierlich arbeitende Geräte eingesetzt. Eine Ausnahme bildet der Javelin von SISIS aus dem Jahr 2004. Allerdings liegt hier der Schwerpunkt auf einer Kombination aus mechanischer und pneumatischer Lockerung (GREEN, 2005).

Der Durchbruch zu einem kontinuierlich arbeitenden Verfahren gelang schließlich 2016 der Novokraft AG mit der

Entwicklung des airtex® Duplex 26170. Die Arbeitsweise beruht dabei auf einem, analog zur Vorwärtsbewegung des Zugfahrzeuges, in der Maschine verschiebbaren Druckluftlanzenstisch. Das bedeutet, sobald die Lanzen in den Boden eindringen, verbleibt der Tisch an dieser Position, bezogen auf die Maschine wird er nach hinten verschoben. Nach der Injektion wird die Einheit aus dem Boden gezogen und der Tisch fährt innerhalb der Maschine zurück zur Ausgangsposition (Abbildung 1). Im Jahr 2018 stellte das Unternehmen auf der Messe GaLaBau in Nürnberg eine in vielen Punkten überarbeitete Version, den airtex® light 14160 vor. Das auf 950 kg reduzierte Eigengewicht der neuen Maschine ermöglichte nun auch den Einsatz dieser Technologie auf Golfgrüns (Abbildung 2).

## Material und Methoden

Über einen Zeitraum von drei Monaten wurden 2019 auf einer stark frequentierten 18-Loch-Golfanlage im Westen Deutschlands die Wirksamkeit



Abb. 2: airtex® light 14160 auf Golfgrün.

(Foto: Hardman)

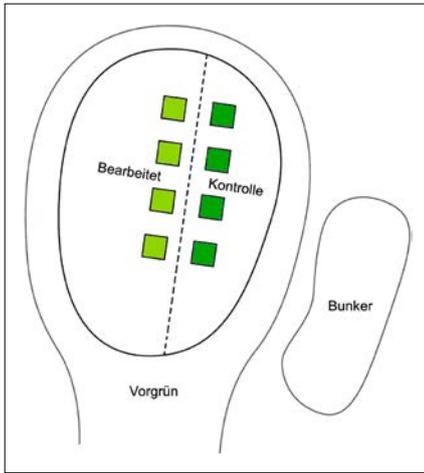


Abb. 3: Schematische Darstellung der Lage der Versuchspartellen am Beispiel von Grün A.

sowie die Nachhaltigkeit einer pneumatischen Bodenbearbeitungsmaßnahme mit einem airtex® light 14160 untersucht. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf die Ergebnisse von zwei ausgewählten Grüns unterschiedlicher Bauart, im Zeitraum vom 28. Mai bis 24. Juni 2019, die im Folgenden als Grün A und Grün B bezeichnet werden. Beide Grüns stehen im regulären Spielbetrieb der Golfanlage. Grün A stammt aus der Mitte der 1960er Jahre. Unter einem ca. zwölf Zentimeter starken organisch-mineralischen Pflegehorizont findet sich eine bauzeitliche Schicht von ca. zehn Zentimeter bindigem, regional anstehendem Oberboden. Darunter folgt eine Schicht von zehn Zentimeter ungewaschenem Sand auf Geotextil über Grobkies. Grün B hingegen wurde Mitte der 1990er Jahre in Dränschichtbauweise erstellt (FLL, 1995). Der Aufbau besteht aus ca. 25 Zentimeter sandreicher Rasentragschicht über Feinkies. Detaillierte Analysen liegen nicht vor. Jedes Grün wurde in einen bearbeiteten und einen unbearbeiteten Bereich geteilt. In beiden Bereichen wurden 2 m x 2 m große Partellen in vier-facher Wiederholung als Dauerquadrate eingemessen (Abbildung 3). Die Längsabstände zwischen den Partellen entsprachen jeweils der Seitenlänge einer Partelle. Bei der Lage der Partellen wurde außerdem auf einen Abstand von mindestens zwei Meter zum Vorgrün geachtet. Abgesehen von der Bodenbearbeitung wurden während des Versuchszeitraums alle Pflegemaßnahmen wie Schnitt, Düngung, Pflanzenschutz und Besanden sowohl auf den Bearbeitungs-, als auch den Kontrollpartellen einheitlich durchgeführt. Innerhalb der Partellen erfolgten alle Messungen zufällig verteilt.

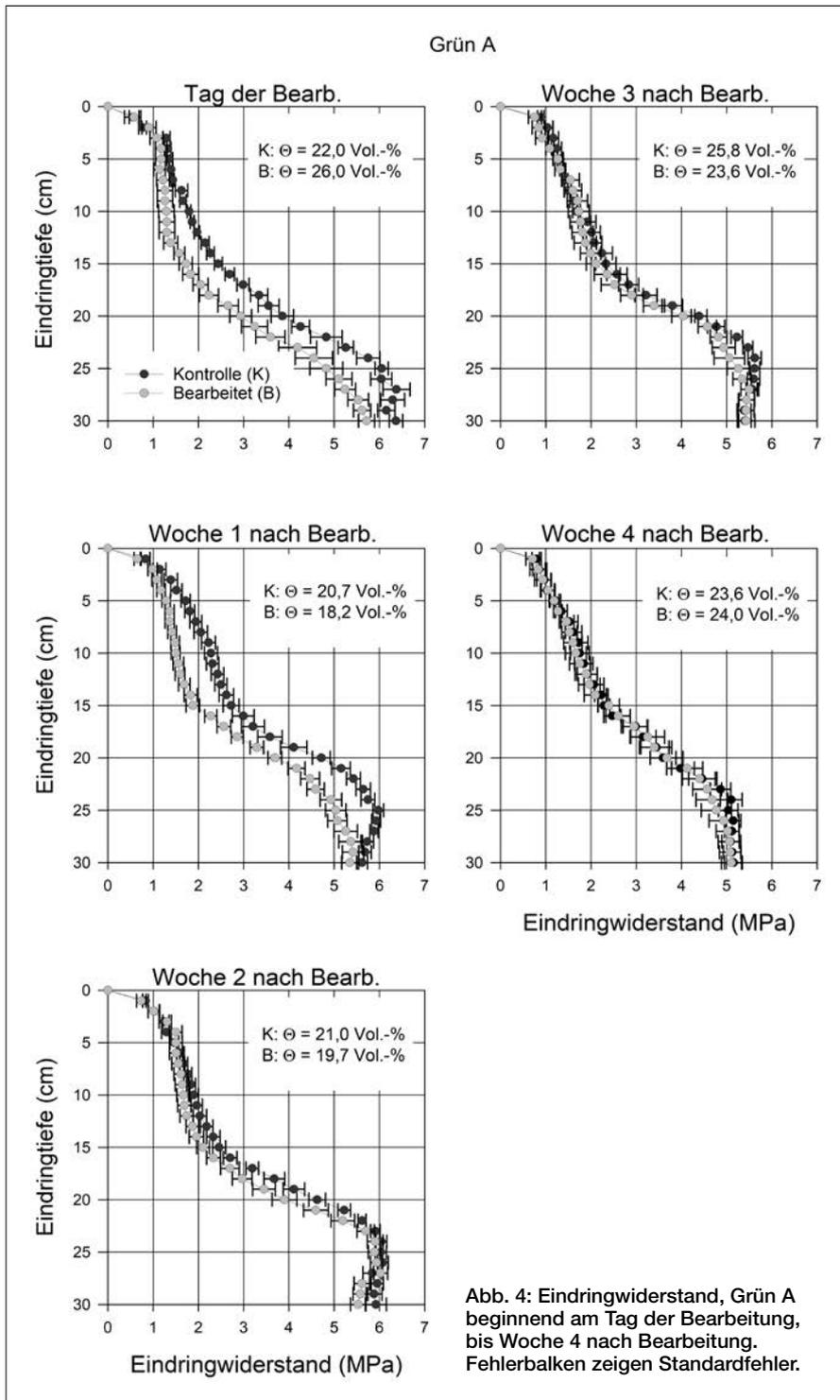
Für die Untersuchung wurde der 2018 vorgestellte airtex® light 14160 der Schweizer Novokraft AG verwendet. Der Leistungsbedarf der 950 kg schweren Maschine wird mit 35-45 PS und die Flächenleistung bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 0,7 km/h mit bis zu 1.300 m<sup>2</sup>/h angegeben (NOVOKRAFT, 2019). Der verschiebbare Injektionslanzenentisch besitzt 14 Stahllanzen. Dabei kann auf unterschiedliche Längen zurückgegriffen werden. Für die hier dargestellten Versuche wurden Injektionslanzen mit einer Länge von 14 cm gewählt. Der Kompressor besitzt eine Förderleistung von 1.500 l/min bei einem maximalen Druck von 9 bar. Die Versuche wurden mit einem Injektionsdruck von 7,5-8 bar durchgeführt. Um die Bodenlockerung durch die Maßnahme beurteilen zu können, wurde der vertikale Eindringwiderstand gemessen. Pro Partelle wurden fünf Messungen an zufällig ausgewählten Punkten durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit einem Penetrolger der Firma Eijkelkamp. Der Konus besaß eine Fläche von 1 cm<sup>2</sup> und einen Winkel von 60°. Die Eindringgeschwindigkeit betrug 2 cm/s. Bei allen Eindringwiderstandsmessungen wurde der volumetrische Wassergehalt erfasst. Die Messung erfolgt mit einer TDR Trime pico 64-zwei-Stab-Sonde der Firma IMKO. Auf jeder Partelle wurde die Sonde an drei zufällig ausgewählten Punkten unter Zuhilfenahme einer Vorstecheinrichtung 16 cm tief senkrecht in den Boden eingeführt. Die Bestimmung der Wasserinfiltrationsrate der Rasentragschicht erfolgte nach DIN 19682-7:2015-08 mit einem Doppelring-Infiltrometer als instationäres Verfahren. Um durch den Doppelringinfiltrometer die Spieloberfläche der Grüns nicht zu stark zu beanspruchen, wurde im bearbeiteten und unbearbeiteten Bereich der Grüns nur jeweils eine Messung durchgeführt. Um die Auswirkungen der Bearbeitung durch den airtex® light auf die Grünsgeschwindigkeit und die Ebenheit zu untersuchen, wurden Messungen mit einem ISO 9001- und USGA-zertifizierten Stimpfmeter durchgeführt. Der Einfluss der Bearbeitungsmaßnahme auf das Gräserwachstum wurde am Ende des fünf-wöchigen Beobachtungszeitraums anhand der Schnittgutmenge gemessen. Dazu wurde während des üblichen Schnitts am frühen Morgen, vor Bespielung der Grüns, die Schnittgutmenge als Frischmasse über eine der Schnittkassetten des verwendeten Toro Reelmaster 3100 D Triplex-Mähers erfasst. Der letzte Schnitt lag dabei immer ca. 24 Stunden zurück. Die Schnitthöhe an den Spindeln betrug 4,5 mm.

Die wöchentlichen Messungen des Eindringwiderstandes, der Wasserinfiltrationsrate sowie der Grünsgeschwindigkeit begannen am 28. Mai, dem Tag der Bearbeitung mit dem airtex® light 14160. Am Ende des Beobachtungszeitraums, in Woche 4 nach der Bearbeitung, wurde zusätzlich die Schnittgutmenge auf den bearbeiteten und unbearbeiteten Partellen der beiden Grüns erfasst.

## Ergebnisse und Diskussion

### Eindringwiderstand

Die Bearbeitung von Grün A erfolgte am 28. Mai bei einem Bodenwassergehalt von 26 Vol.-%. Der Eindringwiderstand (Abbildung 4 auf der folgenden Seite) der unbearbeiteten Kontrolle erreichte in den obersten Zentimetern, im Bereich des Pflegehorizontes, Werte von wenig mehr als 2 MPa. Danach, in der Schicht aus bindigem Oberboden war eine rasche Zunahme auf bis zu 6 MPa zu beobachten. In der darunterliegenden Sandschicht erhöhte sich der Eindringwiderstand nur noch geringfügig. Im Vergleich zur Kontrolle wies unmittelbar nach der Bearbeitung die durch den airtex® light 14160 bearbeitete Fläche ab einer Tiefe von ca. acht Zentimeter einen deutlich verringerten Eindringwiderstand auf. Hier war weitgehend eine Parallelverschiebung des Kurvenverlaufs zu beobachten. Dabei nahm der Eindringwiderstand um durchschnittlich 0,7 MPa ab. Auffällig ist eine Abnahme des Eindringwiderstandes bis weit unter die Eindringtiefe der Werkzeuge des Bodenbearbeitungsgerätes von 14 cm. Es ist offensichtlich durch die Druckluft gelungen, die tieferliegende bindige Bodenschicht einschließlich der darunter liegenden Sandschicht zu erreichen und zu lockern. Auffällig ist, dass im Pflegehorizont nach der Lockerung mit zunehmender Tiefe nur eine geringfügige Zunahme des Eindringwiderstandes zu beobachten war, was sich auf möglicherweise höhere Gehalte an organischer Substanz in diesem Bereich zurückführen lässt. Eine Woche nach der Bearbeitung lagen, bedingt durch den geringeren Bodenwassergehalt zum Zeitpunkt der Messung, die Werte aller Partellen auf einem geringfügig höheren Niveau. Außerdem traten Unterschiede noch deutlicher hervor. Erkennbar war in der oberen Hälfte der Oberbodenschicht eine beginnende Annäherung der Lockerungswerte an die der Kontrolle. Dennoch erwies sich die Wirkung hier, in 16-21 cm Tiefe, im Vergleich zu den anderen Schichten des Grüns, bei denen ab der zweiten



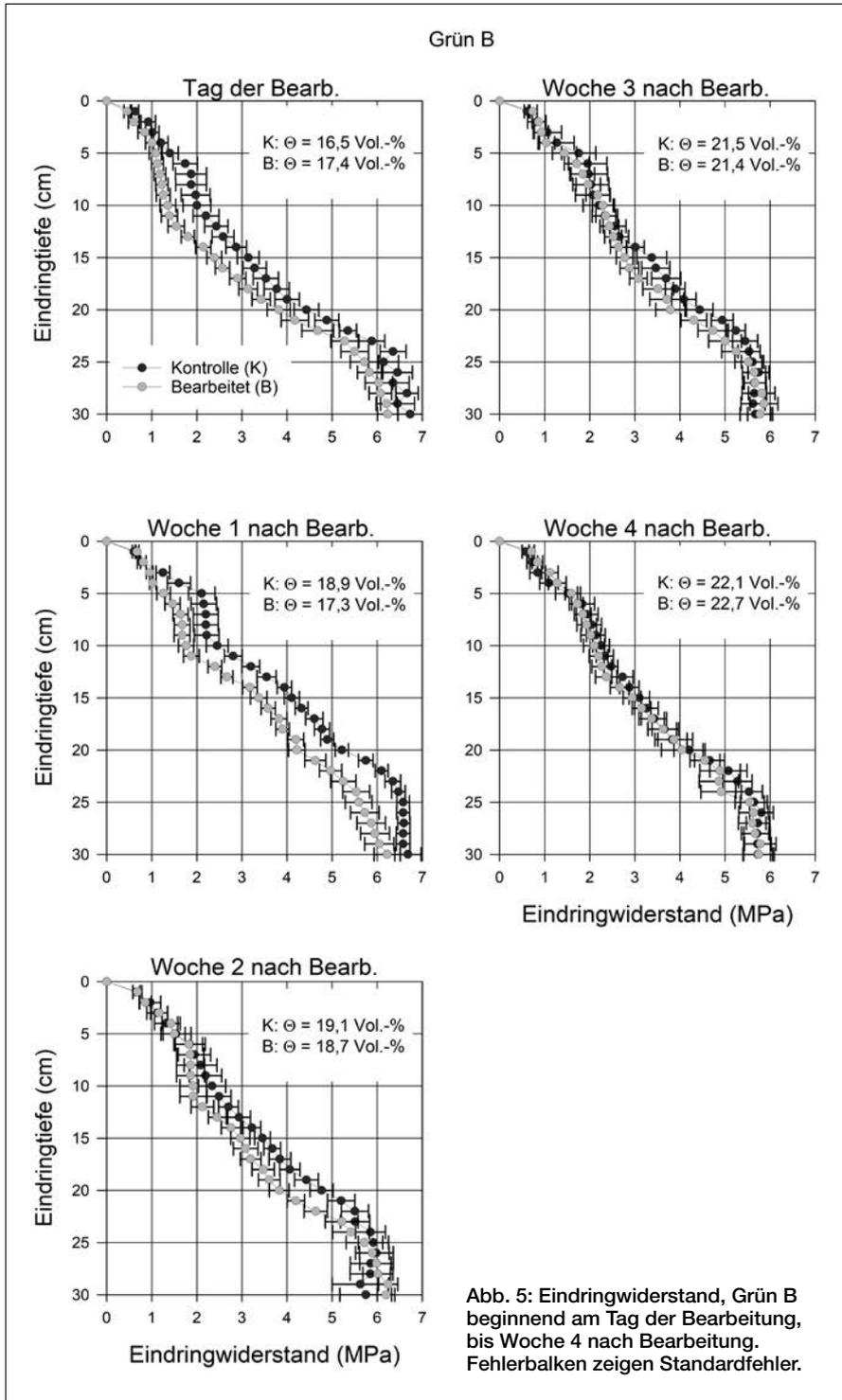
Woche nach der Bearbeitung keine Lockerung mehr nachweisbar war, als stabiler. In der dritten Woche, bei wieder höherem Bodenwassergehalt zum Zeitpunkt der Messung, war nur noch oberhalb der Sandschicht in ca. 24 cm Tiefe eine Lockerung nachweisbar. In Woche 4 nach der Bearbeitung unterschied sich der Eindringwiderstand von Kontrolle und Bearbeitung nicht mehr.

Die Bearbeitung von Grün B erfolgte ebenfalls am 28. Mai, allerdings bei einem, mit 17,4 Vol.-%, im Vergleich zu Grün A geringerem Bodenwasserge-

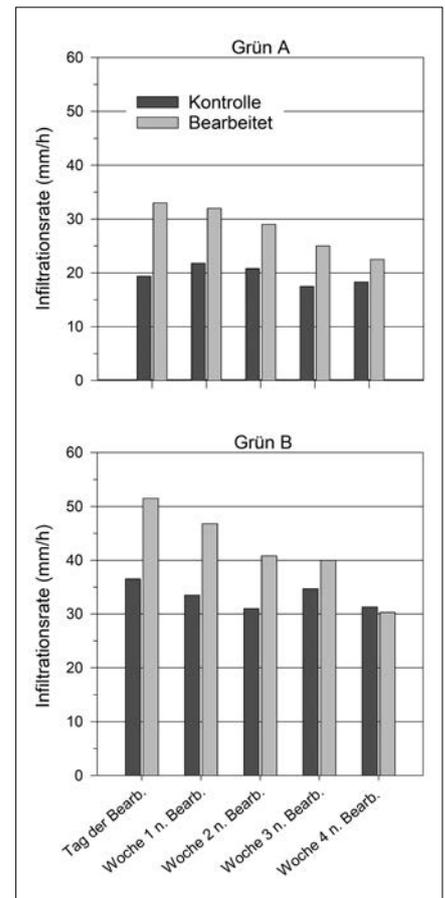
halt (Abbildung 5), was hauptsächlich den Unterschieden im Porenvolumen der beiden Aufbauten geschuldet ist. Der Eindringwiderstand der unbearbeiteten Kontrolle erreichte auch hier in den obersten Zentimetern, im Bereich des Pflegehorizontes, Werte von knapp über 2 MPa um anschließend in 25 cm Tiefe, an der Grenzschiicht zum Feinkies der Dränschicht, auf über 6,5 MPa anzusteigen. Die hohen Standardfehler unterhalb einer Tiefe von 25 cm sind auf den Feinkies zurückzuführen. Im Vergleich zur Kontrolle weist die bearbeitete Fläche, unmittelbar nach der

Bearbeitung ab einer Tiefe von fünf Zentimeter einen deutlich verringerten Eindringwiderstand auf. Bis in die Mitte der Rasentragschicht und damit auch bis zur Eindringtiefe der verwendeten Werkzeuge des airtex® light 14160, nimmt die Lockerungswirkung zu, um anschließend wieder geringer zu werden. Trotzdem ist eine Abnahme des Eindringwiderstandes bis weit unter die Eindringtiefe der Werkzeuge von 14 cm nachweisbar. Durchschnittlich verringerte sich der Eindringwiderstand durch die Bearbeitung um 0,7 MPa. Betrachtet man die Messungen aller Termine, kann nach der Maßnahme auch hier weitgehend von einer Parallelverschiebung des Kurvenverlaufs gesprochen werden. Ebenso, dass im Pflegehorizont nach der Lockerung mit zunehmender Tiefe nur eine geringfügige Zunahme des Eindringwiderstandes zu beobachten war. Allerdings folgte daraufhin, anders als bei Grün A, nun ein rascher, beinahe linearer Anstieg bis zum Erreichen des bereits erwähnten Höchstwertes am Übergang zur Dränschicht. Eine Woche nach der Bearbeitung zeigte die unbearbeitete Kontrolle, trotz eines zum Zeitpunkt der Messung höheren Bodenwassergehaltes, höhere Eindringwiderstandswerte. Auf den bearbeiteten Parzellen war, trotz ähnlichem Bodenwassergehalt wie in der Woche zuvor, bis in eine Tiefe von ungefähr 20 cm ebenfalls ein gegenüber der Vorwoche erhöhter Eindringwiderstand zu erkennen. Beide Beobachtungen hatten jedoch keinen Einfluss auf die Lockerungswirkung, die sich in der Grafik gut an der Parallelverschiebung der Kurven ablesen lässt. Ähnliche Werte finden sich auch in der Folgeweche, wenngleich eine Annäherung der Kurven und damit bereits eine Abnahme der Lockerung erkennbar ist. Dieser Vorgang setzte sich in Woche 3 fort, so dass zu diesem Zeitpunkt nur noch in einer Tiefe von ca. 20 cm eine Lockerung nachweisbar war. In der vierten Woche, bei erhöhtem Bodenwassergehalt zum Zeitpunkt der Messung, waren keine Unterschiede mehr erkennbar.

Grundsätzlich basiert beim airtex® die Lockerungswirkung auf einem mechanischen Anteil und einen pneumatischen Anteil. Der mechanische Anteil entsteht durch die Bewegung der Lanzen im Boden, der pneumatische Anteil durch den Druckluftstoß. Letzterer ist für die Lockerung unterhalb der Eindringtiefe verantwortlich. Aus diesem Grund ist in diesem Bereich nicht mit einer Verdichtung durch die Werkzeugspitze zu rechnen, wie sie bei senkrecht einstechenden Aerifi-



## Infiltrationsrate



**Abb. 6: Wasserinfiltrationsrate, Grün A und Grün B,** beginnend am Tag der Bearbeitung, bis Woche 4 nach Bearbeitung.

Die Werte der Infiltrationsraten von Grün A lagen während des Beobachtungszeitraums im unbearbeiteten Teil der Fläche zwischen 17,5 mm/h und knapp 22 mm/h (Abbildung 6). Durch die Druckluftlockerung gelang es, die Infiltrationsrate, gemessen am Tag der Bearbeitung, auf 33 mm/h zu erhöhen. In den folgenden Wochen war wieder ein stetiger Rückgang von 32 mm/h, über 29 mm/h und 25 mm/h in Woche 2 und 3 auf schließlich 22 mm/h in Woche 4 zu beobachten. Allerdings lag letzter Wert noch über dem der Kontrolle mit 18,3 mm/h. Die Infiltrationsraten von Grün B waren grundsätzlich höher als die von Grün A, was in erster Linie dem Aufbau geschuldet ist. Im unbearbeiteten Teil der Fläche von Grün B wurden während des vierwöchigen Beobachtungszeitraums Werte von 31,0 mm/h bis 36,5 mm/h gemessen. Am höchsten war die Infiltrationsrate, mit 51,5 mm/h, im bearbeiteten Bereich nach Einsatz des airtel® light 14160. Auch bei Grün B war anschließend über die Zeit ein Rückgang der Werte zu beobachten. Während die Infiltrationsrate in der Woche nach der Bearbeitung noch bei fast 50 mm/h

zierern beobachtet wurde (PETROVIC, 1979; MURPHY, 1986). Auch wenn Änderungen des Bodenwassergehaltes einen großen Einfluss auf die Werte des Eindringwiderstandes besitzen (BORCHERT und GRAF, 1987), ist er doch eine der am häufigsten zu findenden Messgrößen für die Beurteilung von Bodenlockerungsmaßnahmen. Die durch Penetrometermessungen nachweisbare Nachhaltigkeit solcher Maßnahmen reicht von wenigen Wochen (GUERTAL et al., 2003) bis hin zu mehr als einem Jahr (SHIM und CARROW, 1997). Da die Angaben der Au-

toren über die Nutzungsintensität der untersuchten Rasenflächen oder den Spielbetrieb abbildender Maßnahmen oft unzureichend sind, ist es praktisch nicht möglich, die stark abweichenden Ergebnisse zu interpretieren und mit den hier vorliegenden zu vergleichen. Bezogen auf das Verfahren Druckluftlockerung per se, decken sich die Ergebnisse jedoch größenordnungsmäßig sowohl hinsichtlich der gemessenen Lockerungswirkung, als auch in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit mit denen von MORHARD (2004) sowie SOROCHAN und DICKSON (2014).

lag, fiel sie danach auf 41 mm/h und 30 mm/h, um schließlich in Woche 4 einen Wert von wenig mehr als 30 mm/h zu erreichen. Damit hielt die Wirkung der Lockerungsmaßnahme auf Grün B mit seinen höheren Ausgangswerten, verglichen mit Grün A, weniger lang an. In Bezug auf die Verbesserung der Wasserdurchlässigkeit bzw. die Erhöhung der Infiltrationsrate werden die Ergebnisse von MORHARD (2004) und SOROCHAN und DICKSON (2014) bestätigt.

### Ballrolldistanz

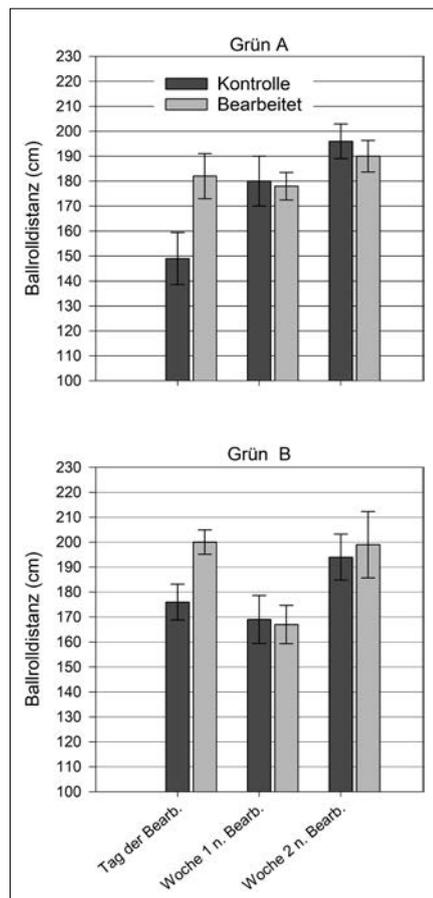


Abb. 7: Grünsgeschwindigkeit als Ballrolldistanz, Grün A und Grün B, beginnend am Tag der Bearbeitung, bis Woche 2 nach Bearbeitung. Fehlerbalken zeigen Standardfehler.

Die mit Hilfe eines Stimpfmetes gemessene Ballrolldistanz oder Grünsgeschwindigkeit von Grün A lag während des drei-wöchigen Beobachtungszeitraums zwischen 149 cm und 196 cm (Abbildung 7). Unterschiede zwischen dem bearbeiteten Bereich und der Kontrolle gab es nur am Tag der Lockerungsmaßnahme. Zu diesem Zeitpunkt wies die Kontrolle einen Wert von lediglich 149 cm auf, während im bearbeiteten Teil des Grüns 182 cm gemessen wurden. In den folgenden Wochen stiegen die Werte bearbeitet und unbearbeitet auf etwas mehr 190

cm an. Grün B besaß zum Zeitpunkt der Lockerungsmaßnahme gegenüber Grün A eine höhere Ballrolldistanz. Auch hier wurden im bearbeiteten Bereich, mit 200 cm gegenüber 176 cm der Kontrolle, höhere Werte gemessen. In den folgenden zwei Wochen gab es keine Unterschiede zwischen den Varianten. Allerdings fielen die Werte in der Woche nach der Bearbeitung deutlich unter das Niveau von Grün A, um nach einer weiteren Woche wieder gleichauf zu liegen. Die Unterschiede zwischen den Grüns lassen sich nicht direkt erklären. SOROCHAN und DICKSON (2014) beobachteten ebenfalls eine Erhöhung der Grünsgeschwindigkeit unmittelbar nach der Druckluftlockerung mit einem Air2G2. Da es den Autoren hauptsächlich um den Beleg dafür ging, dass bei Druckluftlockerung im Gegensatz zur mechanischen Bearbeitung mit Zinken, der Spielbetrieb nicht beeinträchtigt wird, blieb es bei einer Momentaufnahme. Auf Grund der Tatsache, dass eine erhöhte Grünsgeschwindigkeit in unserem Fall nur kurzfristig zu beobachten war, ist aber davon auszugehen, dass der Maschineneinsatz nicht nur in der Tiefe, sondern auch oberflächennah zu Veränderungen geführt hat. Da ein nicht unerheblicher Teil des Gerätegewichts im Heck der Maschine von sogenannten airsoftroll®-Luftgummiwalzen abgestützt wird (NOVOKRAFT, 2019), kommt es zu einem Walzeneffekt, wie er auch gezielt zur Erhöhung der Grünsgeschwindigkeit genutzt wird (HARTWIGER, 1996; DIDSZUN, 2017).

### Aufwuchsmenge

Vier Wochen nach der Lockerungsmaßnahme, am 28. August, wurde auf den untersuchten Flächen die Aufwuchsmenge als Frischmasse bestimmt. Auf beiden Grüns zeigten die bearbeiteten Bereiche gegenüber der Kontrolle ein stärkeres Wachstum (Abbildung 8). So wurden auf der unbearbeiteten Kontrolle von Grün A 26,1 g/m<sup>2</sup> gegenüber 33,4 g/m<sup>2</sup> auf der gelockerten Fläche erfasst. Bei Grün B lagen die Werte mit 24,2 g/m<sup>2</sup> und 32,5 g/m<sup>2</sup> geringfügig niedriger. Generell finden sich ähnliche Werte auch bei HARDT (1994). Die Tatsache, dass Bodenbearbeitung auf Golfgrüns zu einem verbesserten Wachstum führen kann, zeigten bereits MURPHY und RIEKE (1994). Da von einigen Autoren in diesem Zusammenhang der Einfluss des Wurzelwachstums betont wird (MORGAN et al., 1965; HELLSTERN, 1972; KAMP, 1979), wurde im vorliegenden Beitrag die Messung mit zeitlichem Verzug erst in Woche 4 nach der Bearbeitung durchgeführt. Als eine der Hauptursachen für den Einfluss auf das Wurzelwachstum kann eine Verbesserung des Gasaustauschs zwischen Rasentragschicht und Umgebungsluft sein. Die Bedeutung des Gasaustauschs für das Gräserwachstum erkannten bereits WADDINGTON und BAKER (1965). Unberücksichtigt bleibt bei diesem Erklärungsansatz eine möglicherweise verstärkte Mineralisation organischer Substanz und damit eine Nährstofffreisetzung, wie sie durch verbesserte Bedingungen für Mikroorganismen in Folge von Bodenbearbeitung zu erwarten ist.

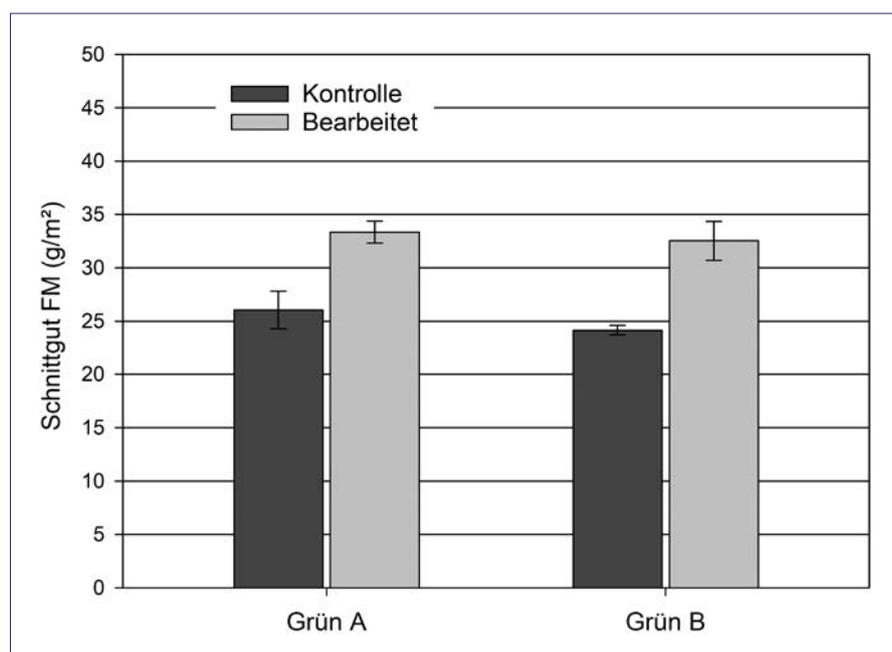


Abb. 8: Schnittgutmenge erhoben als Frischmasse der Parzellen, Grün A und Grün B in Woche 4 nach der Bearbeitung. Fehlerbalken zeigen Standardfehler.

## Fazit

Die abschließende wissenschaftliche Einordnung und Bewertung der Nachhaltigkeit der Maßnahme ist schwierig, da neben dem Lockerungsverfahren an sich und dem Bodenwassergehalt, zahlreiche weitere bodenphysikalische Größen, die im Rahmen dieser Untersuchung nicht erfasst wurden, eine wichtige Rolle spielen. Hinzu kommt der direkte Einfluss von Pflege- und Spielbetrieb der im vorliegenden Fall ebenfalls nur grob abgeschätzt werden kann. Allerdings werden die vorliegenden Ergebnisse durch die Arbeiten von MORHARD (2004) und PRÄMASSING (2008) größenordnungsmäßig weitgehend gestützt. Für präzisere Aussagen, insbesondere gegenüber anderen Verfahren der Bodenpflege von Intensivrasenflächen, sind jedoch direkte Vergleiche notwendig. Die Tatsache, dass bei stärker verdichteten Rasenflächen durch wiederholtes Aerifizieren eine Summierung der Lockerungswirkung beobachtet werden kann (MURPHY, 1986; MURPHY und RIEKE, 1987), machen sich SOROCHAN und DICKSON (2014) zu Nutze, indem sie die Druckluftlockerung in ihrer Untersuchung einmal bzw. zweimal pro Monat durchführten. Dies war auf Grund der geringen Oberflächenstörung möglich und zeigt letztlich die Chancen der Druckluftlockerung sowohl bei der Erhaltungspflege, analog zum Aerifizieren, als auch im Rahmen der Regenerationspflege, vergleichbar dem mechanischen Tiefenlockern.

## Literatur

- BISHOP, D.M., 1990: Cultivation By Injection ed. Golf Course Management, 03, 34-54.
- BORCHERT, H. und R. GRAF, 1988: Zum Vergleich von Penetrometermessungen, durchgeführt bei unterschiedlichem Wassergehalt. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, Vol. 151.
- CARROW, R.N., 1993: Hydro-Ject vs. solid tine vs. hollow tine aeration. Proceedings of the 41th Annual Florida Turf-Grass, Vol. 41, 30-36.
- DIDSZUN, P., 2017: Auswirkungen unterschiedlicher „Smooth Rolling Systeme“ auf die Grünqualität im Hinblick auf die Puttobfläche. Rasen Turf Gazon 3-2017.
- DIN 19682-7, 2012: Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Felduntersuchungen – Teil 7: Bestimmung der Infiltrationsrate mit dem Doppelzylinder-Infiltrometer
- FITE, K., et al., 2011: Evaluation of a Soil De-compaction and Amendment Process for Urban Trees. Arboriculture & Urban Forestry 2011. 37(6): S. 293-300.
- FLL, 1995: Richtlinie für den Bau von Golfplätzen. Ausgabe 1995, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Troisdorf. 40 S.
- GREEN, D., 2005: A Breath of Compressed Air. Greenkeeper International. 10/2005. S. 31-33.
- GUERTAL, E.A., C.L. DERRICK and J.N. SHAW, 2003: Deep-tine aerification in compacted soil. Golf Course Management, 12/2003, 87-90.
- HARDT, G., 1994: Einfluss von Stickstoff-Düngerform und N-Aufwand auf den N-Umsatz in Pflanze und Boden sowie auf die Narbenqualität eines Golfgrüns. Dissertation, Universität Hohenheim, 125 S.
- HARTWIGER, C., 1996: The Ups and Downs of Rolling Putting Greens. USGA GREEN SECTION RECORD, S. 1-4.
- HELLSTERN, B., 1972: Belüftung verdichteter Rasenflächen. Rasen-Turf-Gazon 2, 44-47.
- KAMP, H.A., 1979: Einfluss des Aerifizierens mit Schlitzmessern auf einige Bodeneigenschaften von Rasensportplätzen. Zeitschrift für Vegetationstechnik 1/79, 17-21.
- LABBANCE, B., 1997: A new kind of Aerator. An unlikely source for new aerator technology. Turf North. 7/1997. Reprint from Turf Magazine.
- LIST, W. und Th. ROSS, 1986: Bodenlockerung / Tiefenlockerung: Technische und bodenmechanische Fragen bei Einsatz des Terralift-Verfahrens am Standort Marl 46. Abschlussarbeit HS Osnabrück, 1986.
- MCEWEN, S.M., 1929: Subsoiler and aerator. United States Patent US 1739765 A. Angemeldet am 31. Jan. 1927, offengelegt am 17.12.1929.
- MORGAN, W.C., J. LETEY and L.H. STOLZY, 1965: Turfgrass renovation by deep tine aerification. Agronomy Journal 57, 494-496.
- MORHARD, J., 2004: Untersuchungen zur Bodenbearbeitung auf Strapazierrasenflächen. Dissertation, Universität Hohenheim, 164 S.
- MURPHY, J.A., 1986: Hollow and solid tine cultivation effects on soil structure and turfgrass root growth. Thesis, Department of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, USA, 61 S.
- MURPHY, J.A. and P.E. RIEKE, 1987: Hollow and solid tine coring research. Proceedings of the 57th Annual Michigan Turfgrass, Vol. 16, 28-33.
- MURPHY, J.A. and P.E. RIEKE, 1994: High Pressure Water Injection and core Cultivation of a Compacted Putting Green. Agronomy Journal 86, 719-724.
- NOVOKRAFT AG, 2019: Broschüre airtel® light 14160 DE 01-2019, 4S.
- PENDERGRASS, D.B., 1993: Process and Apparatus for Soil Treatment. United States Patent US 005178078 A. Angemeldet 07.10.1991, offengelegt 12.01.1993.
- PETROVIC, A.M., 1979: The effects of vertical operating hollow tine (voht) cultivation on turfgrass soil structure. Dissertation, Department of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, 86 S.
- PRÄMASSING, W., 2008: Veränderung bodenphysikalischer Eigenschaften durch Aerifiziermaßnahmen auf belastbaren Rasenflächen. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn, 190 S.
- SCHNEIDER, M., 1999: Untersuchung und Wertung bodenlockernder und belüftender Geräte für den Garten- und Landschaftsbau in Bezug auf Nachhaltigkeit, Wirkungsweise und -weite. Diplomarbeit im Studiengang Gartenbauwissenschaften. Institut für Gärtnerischen Pflanzenbau. Fachgebiet Technik im Gartenbau. Humboldt Universität. Berlin. 75 S.
- SHIM, S.R. and R.N. CARROW, 1997: Cultivation and Chemical Injection: Influence On Soil Physical And Chemical Properties. Int. Turfgrass Society Research Journal, Vol. 8, 533-539.
- SIEBERT, J. und U. WEIGANDT, 1989: Bodenlüftungsverfahren: Untersucht auf ihre Lockerungswirkung und die Verteilung von eingebrachten Stoffen in sandigen Böden mit und ohne Baumbewuchs. Dargestellt am Beispiel des „Gaspo-Sanators“. Abschlussarbeit HS Osnabrück, 1989.
- SMILEY, Th., et al., 1990: Evaluation of Soil Aeration Equipment. Journal of Arboriculture 16(5): May 1990. S. 118-123.
- SOROCHAN, J. and K. DICKSON, 2014: GT Airinject Final Report Draft. University of Tennessee, Knoxville.
- WADDINGTON, D.V., J.H. BAKER, 1965: Influence of soil aeration on the growth and chemical composition of three grass species. Agronomy Journal 57, 253-258.
- ZINCK, E., 1982: Terralift – Verfahren zur Anwendung von Druckluft für die Bodenpflege und die Bodenheilung. Informationsschrift für Anwender. Bad Kreuznach. März 1982.
- ZINCK, E., 1984: Vorrichtung zur Bearbeitung pflanzenbaulich genutzten Bodens. DE 3245912 A1. Angemeldet 11.12.1982, offengelegt 14.06.84.

### Autoren:

M.sc. Leopold Breloh  
Kiefernweg 2  
D-40723 Hilden

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