

# Nachhaltige Phosphor-Düngung auf Golfgrüns mit *Agrostis stolonifera*-Dominanz und *Festuca rubra*-/*Agrostis capillaris*-Mischbestand\*

Borchert, A.F., H.-W. Olf, K. Juul Hesselsøe u. W. Prämaßing

## Zusammenfassung

Die Düngung mit Phosphor (P) ist eine wichtige Pflegemaßnahme, um die Rasenqualität eines Golfgrüns sicherzustellen und damit dem Golfer ein optimales Spiel zu ermöglichen. Gleichzeitig soll im Zuge der aktuellen Diskussion um Nachhaltigkeit und Umweltschutz der P-Einsatz durch geeignete Düngempfehlungen reduziert werden. Von 2017 bis 2020 untersuchte das internationale STERF-Projekt „Sustainable phosphorus fertilization on golf courses (SUSPHOS)“ auf fünf Golfgrüns, welche praxisübliche P-Düngempfehlung eine reduzierte P-Düngung bei gleichbleibender Rasenqualität ermöglicht. Verglichen wurden dabei: „Minimum Levels for Sustainable Nutrition“ (MLSN: Richtwert > 18 mg P kg<sup>-1</sup> Boden), „Scandinavian Precision Fertilisation“ (SPF: P-Menge = 12 % der jährlichen N-Menge) und „Sufficiency Level of Available Nutrients“ (SLAN: Richtwert > 54 mg P kg<sup>-1</sup> Boden).

Die Versuche wurden auf je einem *Agrostis stolonifera* (Flechtstraußgras)-Golfgrün in China, Deutschland, Norwegen und Schweden, sowie einem *Festuca rubra* (Fr) + *Agrostis capillaris* (Ac) (Rotschwingel + Rotes Straußgras)-Golfgrün in den Niederlanden als lateinisches Quadrat mit den vier Varianten MLSN, SPF, SLAN und einer ungedüngten Kontrolle vierfach wiederholt angelegt. Folgende Parameter wurden u. a. erfasst: PO<sub>4</sub>-P-Konzentration (Mehlich-3-Extraktion) im Boden, visueller Rasenaspekt (Boniturnote), *Poa annua*-Deckungsgrad (%) und Durchwurzelungstiefe (mm). In diesem Beitrag werden die Ergebnisse aus Deutschland (Duete-DE) und den Niederlanden (Princen-NL) betrachtet und diskutiert.

Die nach MLSN- und SPF-Düngeempfehlung geringeren P-Düngemengen im Vergleich zu SLAN verringerten die P-Konzentrationen im Boden signifikant auf beiden Golfgrüns. Auf dem *Agrostis stolonifera*-Golfgrün Duete-DE führten die um 75-80 % geringeren Gesamt-P-Gaben durch SPF oder MLSN zu P-Konzentrationen von 23-27 mg kg<sup>-1</sup> Boden (SLAN = 41 mg kg<sup>-1</sup> Boden). Die um 70-95 % reduzierten P-Düngemengen auf dem Fr + Ac-Golfgrün Princen-NL reduzierten die P-Konzentrationen auf 9 und 8 mg kg<sup>-1</sup> Boden bei MLSN bzw. SPF (SLAN = 23 mg kg<sup>-1</sup> Boden). Gleichzeitig konnte der Rasenaspekt auf beiden Grüns als gut eingestuft werden, da die mittlere Boniturnote, unabhängig von der P-Düngungsmenge, ≥ 6 betrug. Das in Bezug auf die N-Düngung intensiv geführte *Agrostis stolonifera*-Grün zeigte jedoch vor allem in der SPF-Düngevariante eine größere Streuung des Rasenaspektes innerhalb und zwischen den Jahren. Auf keinem der beiden Standorte wurde das Wachstum von *Poa annua* durch die geringeren P-Gaben nach MLSN- und SPF-Düngeempfehlung signifikant unterdrückt, wie ursprünglich erwartet. Der hohe Deckungsgrad vor Beginn des Versuches auf dem Golfgrün Duete-DE von 55 % ging jedoch dennoch deutlich zurück, was jedoch auf die warme Witterung und konsequentes Nachsäen zurückzuführen ist. Es kam jedoch auch selbst auf dem Fr + Ac-Grün Princen-NL nicht zu einem verstärkten *Poa annua*-Wachstum, trotz der hier deutlich höheren P-Gaben nach SLAN-Düngeempfehlung (45 g m<sup>-2</sup>) im Vergleich zu SPF (2,4 g m<sup>-2</sup>) bzw. MLSN (12,9 g m<sup>-2</sup>). Die Durchwurzelungstiefe wurde durch eine geringere P-Düngung ebenfalls nicht nachteilig reduziert.

## Summary

A fertilization with phosphorus is very important for the maintenance of greens in order to upkeep the quality of its turf and allow the golfers to play their games optimally. At the same time, as a result of the actual discussion on sustainability and environmental protection, the use of phosphorus should be reduced through recommendations on better adapted fertilizers. From 2017 until 2020 the international STERF-project „Sustainable phosphorus fertilization on golf courses (SUSPHOS)“ investigated on five golf greens in order to find some practical recommendation to reduce the utilization of phosphorus fertilizers which at the same time preserve the quality of the turf. For this purpose they compared: „Minimum Levels for Sustainable Nutrition“ (MLSN: Reference value > 18 mg P kg<sup>-1</sup> soil), „Scandinavian Precision Fertilisation“ (SPF: phosphorus quantity = 12 % of the annual quantity of nitrogen) and „Sufficient Level of Available Nutrients“ (SLAN: Reference value > 54 mg P kg<sup>-1</sup> soil).

These experiments were made on golf greens covered with *Agrostis stolonifera* (creeping bent) in China, Germany, Norway and Sweden, as well as those made on a golf green in the Netherlands covered with *Festuca rubra* + *Agrostis capillaris* (red fescue + colonial bentgrass). The greens were divided in Latin squares covered respectively with the four varieties MLSN, SPE, SLAN and an unfertilized control square. These experiments were repeated four times. The following parameters were recorded: PO<sub>4</sub>-P concentration in the soil (Mehlich-3-extraction), visual turf aspect (rating on a scale from 1 to 9), the *Poa annua* degree of coverage (%) and the rooting depth (mm). The re-

\* Der Beitrag basiert auf Ergebnissen des STERF-Forschungsprojektes „SUSPHOS“, die im Rahmen einer Masterarbeit an der Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, in den Fachgebieten „Nachhaltiges Rasenmanagement“ und „Pflanzenbau und Pflanzenernährung“ ausgewertet wurden.

sults from Germany (Duete-DE) and the Netherlands (Princen-NL) are analysed and discussed in this article.

The phosphorus concentrations in the soil of both golf greens were significantly reduced thanks to the MLSN and SPF recommendations to utilize less phosphorous fertilizers in comparison to SLAN. On the Duete-DE golfgreen covered with *Agrostis stolonifera* the phosphorus supply was reduced, as suggested by SPF and MLSN, of about 75-80 %, to phosphorous concentrations of about 23-27 mg kg<sup>-1</sup> soil (SLAN = 41 mg kg<sup>-1</sup> soil). The supply of less than 70-95 % phosphorous fertilizers on the golf green Princen-NL covered with Fr + Ac reduced the phosphorous concentrations until 9 and 8 mg kg<sup>-1</sup> soil with MLSN or SPF (SLAN = 23 mg kg<sup>-1</sup> soil). Furthermore, it was possible to give a good rating to the aspect of the turf on both greens, because the average rating was > 6, independently of the quantity of phosphorous fertilizers. As for the nitrogen fertilizer broadly used, the green covered with *Agrostis stolonifera* revealed more mean variations in the aspect of ist turf during all the years, chiefly with the SPF model. As originally expected, the growth of *Poa annua* was on both locations in no way significantly hampered because of a lesser phosphorous supply as recommended by MLSN and SPF. The high degree of coverage existing at the beginning of the experiment on the Duete-DE golf green went back clearly, which was due to the warm weather conditions and a consequent reseeded. However, there was no accelerated growth of the *Poa annua*, even not on the Fr + Ac green of the Princen-NL, although there was here a higher supply of phosphorous fertilizer (45 g m<sup>-2</sup>) as recommended by SLAN compared to S PF (2,4 g m<sup>-2</sup>) or MLSN (12,9 g m<sup>-2</sup>). The roots penetration was not hampered through a lesser supply of phosphorous fertilizer.

## Résumé

Pour l'entretien des gazons sur les courts de golf l'apport d'un engrais phosphoré est très important. Il en assure sa bonne qualité et permet au golfeur une pratique optimale de son jeu. Toutefois, suite aux discussions actuelles sur la protection de l'environnement et la pérennisation, il est nécessaire de réduire en même temps la quantité de phosphore utilisée grâce aux recommandations appropriées.

C'est pourquoi on a fait des tests de 2017 à 2020 sur cinq courts de golf dans le cadre du projet international STERF „Sustainable phosphorus fertilization on golf courts (SUSPHOS)“. On a voulu savoir quelle quantité d'engrais phosphoré habituel on pouvait recommander afin que le gazon sur les courts de golf conserve leur qualité. On a comparé pour ce faire: „Minimum Levels for Sustainable Nutrition“ (MLSN: Valeur de référence > 18 mg P kg<sup>-1</sup> sol, „Skandinavian Precision Fertilization“ (SPF: quantité de P = 12 % de la quantité annuelle de N) et „Sufficiency Level of Available Nutrients“ (SLAN: Valeur de référence > 54 mg P kg<sup>-1</sup> sol).

Les tests ont été faits sur des courts de golf en Chine, en Allemagne, en Norvège et en Suède, ayant chacun un *Agrostis stolonifera* (agrostide), ainsi qu'un *Festuca rubra* (Fr) + *Agrostis capillaris* (Ac) (Fétuque rouge + agrostide rouge) aux Pays Bas. Ces courts étaient divisés en carrés latins portant chacun les quatre variantes MLSN, SPE, SLAN plus un carré de contrôle non fertilisé. Les paramètres suivants ont été entre autres saisis: Concentration de PO<sub>4</sub>-P (Mehlich-3-extraction) du sol, l'aspect visuel du gazon (bonus), le degré de couverture en *Poa annua* (%) et la profondeur d'enracinement (mm). Dans cette analyse on prend principalement en considération et puis discute les résultats en provenance d'Allemagne (Duete-DE) et des Pays-Bas (Princen-NL).

Grâce aux recommandations des MLSN et SPF pour une utilisation réduite d'engrais phosphoré, comparé au SLAN, la concentration en phosphore du sol a grandement diminué sur les deux courts de golf. Sur le court de golf Duete-DE couvert d'*Agrostis stolonifera* on a noté une réduction de 75-80 % de phosphore grâce au SPF ou au MLSN avec une concentration de phosphore de 23-27 mg kg<sup>-1</sup> de sol (SLAN = 41 mg kg<sup>-1</sup> de sol). La quantité d'engrais au phosphore réduite de 75 à 95 % sur les Fr + Ac du court de golf Princen-NL a ramené la concentration de phosphore à 9 et 8 mg kg<sup>-1</sup> de sol (SLAN = 23 mg kg<sup>-1</sup> de sol). Par ailleurs on a pu en même temps déterminer que les deux gazons avaient une belle apparence, car la note moyenne, indépendante de la quantité d'engrais phosphoré, s'élevait à > 6. En ce qui concerne la fertilisation azotée sur le court de golf couvert d'*Agrostis stolonifera* l'aspect du gazon a tout particulièrement révélé que la variante d'engrais SPF a provoqué un changement de couleur dans les années concernées.

Sur aucun des deux courts la croissance des *Poa annua* n'a été ralenti suite aux doses minimales de phosphore utilisées selon les recommandations des MLSN et SPF, comme on l'avait prévu. Le degré de couverture élevé de 55 % existant au début des tests sur le court de golf Duete-DE a beaucoup baissé, facteur dû à la chaleur et à un réensemencement. Enfin, on a pas pu observer sur le court Princen-NL avec les Fr + Ac une croissance accrue de *Poa annua* malgré un apport accru de phosphore suivant les recommandations SLAN (45 g m<sup>-2</sup>) en comparaison au SPF (2,4 g m<sup>-2</sup>) ou MLSN (12,9 g m<sup>-2</sup>). La profondeur de l'enracinement des graminées n'a été en aucun cas handicapé par un apport réduit d'engrais phosphoré.

## Einleitung

Ein hochwertiges Golfgrün mit einer dichten Grasnarbe und einer ebenen Oberfläche ist die optimale Voraussetzung für das Golfspiel. Auch wenn eine optimale Spielqualität vom jeweiligen Golfer abhängt, sind für viele Ebenheit und Gleichmäßigkeit des Grüns die wichtigsten Kriterien (DAHL JENSEN, 2012). Um den Bedürfnissen der Golfer gerecht zu werden, ist eine hohe Rasenqualität, d. h. eine hohe Narbedichte und wenig Unkraut, Moos, kranke Gräser und kahler Boden, unerlässlich (MÜLLER-BECK, 2019; TURGEON, 2012). Eine ausreichende Zufuhr von Nährstoffen wie Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) ist besonders wichtig für die Widerstandsfähigkeit des Rasens gegenüber Krankheiten und die Wiederherstellung einer dichten Grasnarbe (MÜLLER-BECK, 2019; PESSARAKLI, 2008). Im Gegensatz zu den Böden vieler landwirtschaftlich genutzter Grünflächen enthält die Rasentragschicht auf Golfgrüns weniger Nährstoffe, weniger organisches Material und ist sehr wasserundurchlässig (FLL, 2008). Neben der N-Düngung ist Phosphor besonders wichtig, da dieser Nährstoff das Wurzel- und Sprosswachstum stimuliert (CARROW et al., 2001). Ein Ausbringen von wasserlöslichem P-Dünger erhöht die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung. Allerdings kann der ausgebrachte P-Dünger auch als labiles P gebunden werden. Die Dynamik des P-Pools im Boden bzw. der Rasentragschicht hängt ab von:

- Boden-pH (optimal 6,0-6,5; AMELUNG, 2018),
- Redoxpotenzial und
- Ca-, Fe- und Al-Konzentration (AMELUNG, 2018).

Düngeempfehlung nach	Extraktionsmethode	P Level im Boden	Quelle
VDLUFA-Standard	CAL	Gehaltsklasse C: 31-60 mg kg <sup>-1</sup> Boden Acker- und Grünland ; Versorgung mittel: 31-66 mg kg <sup>-1</sup> Boden sandreiche Rasentragschichten	WIESLER et al., 2018 ; THIEME-HACK, 2018
SLAN	Mehlich-3	> 54 mg kg <sup>-1</sup> Boden	CARROW et al., 2004a, b
MLSN	Mehlich-3	> 18 mg kg <sup>-1</sup> Boden	WOODS et al., 2014; WOODS et al., 2016
SPF	-	P-Menge entspricht 12 % der gedüngten N-Menge	ERICSSON et al., 2015; KVALBEIN und AAMLID, 2016

Tab. 1: Übersicht der P-Düngeempfehlungen für Rasen nach unterschiedlichen Methoden.

In Abhängigkeit vom Boden-pH erhöhen gängige Praktiken wie Kalken (zu niedriger pH-Wert) oder bei hohem Boden-pH das Ausbringen von versauernden N-Düngern die P-Verfügbarkeit. Darüber hinaus können die Pflanzen selbst den pH-Wert des Bodens an der Wurzeloberfläche senken, indem sie organische Säuren und H<sup>+</sup>-Ionen ausscheiden, um labiles P zu lösen (SCHILLING, 2000).

Eine P-Unterversorgung sollte nicht nur in der Etablierungsphase des Golfgrüns, sondern auch bei einem bereits etablierten Grasbestand vermieden werden. Eine unzureichende P-Versorgung ist dann am wahrscheinlichsten, wenn der P-Gehalt im Boden aufgrund ungünstiger Boden- und Klimabedingungen niedrig ist, sowie während der Etablierung des Rasens, wenn sich die Wurzeln noch entwickeln (CARROW et al., 2001). Eine Überversorgung mit P ist jedoch auch nachteilig, da dies laut verschiedener Untersuchungen die Ausbreitung von *Poa annua* (Einjährige Risppe) fördert (RALEY et al., 2013; THIEME-HACK, 2018; VARGAS u. TURGEON, 2004). Darüber hinaus erhöhen P-Verluste das Risiko einer Eutrophierung von Oberflächengewässern und Algenbildung, wie z. B. von SCHINDLER (1971) und ULÉN et al. (2007) beschrieben. Insbesondere Böden mit einem Phosphorsättigungsgrad (DPS) von 30 % und höher verstärken das Risiko von P-Verlusten laut DESMET et al. (1996), LEINWEBER et al. (1997) und LOOKMAN et al. (1996). Ein nachhaltiges Düngemanagement mit angemessenen P-Mengen ist daher nötig, um einen P-Überschuss oder -Mangel zu vermeiden und so den Schutz der Umwelt und die erforderliche Rasenqualität zu gewährleisten, die den Bedürfnissen der Golfer ent-

spricht. Zudem lassen sich Düngemittelkosten reduzieren.

Derzeit existieren in Europa und den USA vier P-Düngeempfehlungen für Golfgrüns, die die Ergebnisse aus Bodenanalysen oder ausschließlich das N:P-Nährstoffverhältnis in den Pflanzen berücksichtigen (Tabelle 1).

In Deutschland ist die CAL-Extraktion nach SCHÜLLER (1969) Standardmethode der Labore vom Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). Sie simuliert das Ansäuern der Rhizosphäre durch die Pflanze und soll so das pflanzenverfügbare Phosphat extrahieren (VDLUFA, 2012). Die ermittelten P-Gehalte werden anschließend zur Düngeempfehlung in die Gehaltsklassen A bis E eingestuft, die von Feldversuchen auf Acker- und Grünland abgeleitet wurden. Die Gehaltsklasse C ist dabei anzustreben. Liegt diese vor, ist nach Pflanzenentzug zu düngen.

In den USA ist die P-Düngung nach „Sufficiency Level of Available Nutrients“ (SLAN) Standard. Bei SLAN wird zur P-Extraktion die Mehlich-3-Extraktion nach MEHLICH (1984) angewendet. Damit den Rasengräsern ausreichend Phosphor zur Verfügung steht, sollen die P-Konzentrationen bei > 54 mg kg<sup>-1</sup> Boden liegen (CARROW et al., 2004a, 2004b). Dieser Richtwert wurde anhand von landwirtschaftlichen Feldversuchen laut AAMLID und SANDELL (2018) evaluiert. Seit einigen Jahren gibt es ein neues Vorgehen nach „Minimum Levels for Sustainable Nutrition“ (MLSN). Für die MLSN-Empfehlungen wird Phosphat aus den Bodenproben, wie bei der SLAN-Empfehlung nach der Mehlich-3-Methode, extrahiert.

Die gewünschten P-Konzentrationen, um ein normales Graswachstum zu ermöglichen, sollen im Minimum bei 18 mg kg<sup>-1</sup> Boden liegen (WOODS et al., 2014). Dies ist dreimal niedriger als bei der SLAN-Empfehlung von CARROW et al. (2004b). Die MLSN-Düngeempfehlung beruht auf der Auswertung von mehr als 17.000 Bodenproben. Dabei wurde der Richtwert mittels eines mathematischen Modells ermittelt, welches eine optimale Rasenqualität berücksichtigte (WOODS et al., 2014). Zudem wurde der Wert so gewählt, dass die Wahrscheinlichkeit unter 10 % liegt, eine Probe mit einer geringeren Konzentration als dem Richtwert auszuwählen.

In Skandinavien empfiehlt die Scandinavian Turfgrass and Environment Research Foundation (STERF) in ihrer „Precision Fertilisation-Empfehlung“ (SPF) eine P-Düngemenge von 12 % der jährlichen N-Düngemenge unabhängig von der Kultur (ERICSSON et al., 2015). Für Golfgrüns wurde diese Empfehlung adaptiert. Dahinter steckt das Prinzip, dass alle Nährstoffe, darunter auch Phosphor, über die gesamte Düngeperiode relativ zum N-Gehalt der Pflanzen zugeführt werden. Dieses Vorgehen begründet sich darauf, dass alle Nährstoffe in einem gewissen Verhältnis zueinander in den Pflanzen vorkommen. Die SPF-Empfehlung berücksichtigt somit keine Boden-P-Analysen und empfiehlt P ausschließlich entsprechend der erwarteten P-Aufnahme in Höhe von 12 % der jährlichen N-Menge auszubringen (ERICSSON et al., 2015).

Im Rahmen des von STERF geförderten internationalen Forschungsprojektes „Sustainable phosphorus fertilization on golf courses (2017-2020) SUSPHOS“ wurde untersucht, welche Empfehlung trotz reduzierter P-Düngergaben gleichzeitig eine hohe Rasenqualität und den Schutz der Umwelt ermöglicht. Das Projekt verglich dabei drei P-Düngeempfehlungen auf ausgewählten Golfplätzen in fünf Ländern, darunter China, Deutschland, Norwegen, Schweden und die Niederlande. Die Düngeempfehlungen folgten den Methoden MLSN, SPF und SLAN. Die Auswirkungen dieser ausgewählten P-Düngeempfehlungen auf die PO<sub>4</sub>-P-Konzentration des Bodens, den pH-Wert des Bodens, den Rasenaspekt, den *Poa annua*-Deckungsgrad und die Durchwurzelungstiefe wurde dabei bewertet. In diesem Beitrag werden jedoch nur die Ergebnisse der Golfgrüns in Deutschland und den Niederlanden betrachtet.

Versuchsstandort	Lage	Koordinaten		Höhe ü. N. N. (m. ü. M.)	Jährliche		Klimaklassifikation <sup>a</sup>
		N	O		Durchschn. Temp. (°C)	Niederschlag (mm)	
Duete-DE	Dütetal, Deutschland	52°18'	7°55'	60	9,1	830	Cfb
Princen-NL	Princenbosch, Niederlande	51°32'	4°87'	10	10,9	834	Cfb

<sup>a</sup> Klimaklassifikationen nach Köppen-Geiger verändert nach BECK et. al. (2018); Cfb = Temperate oceanic climate.

Tab. 2: Lage und Klima der Versuchsstandorte Duete-DE und Princen-NL.

Die Hypothesen lauteten: Die niedrigere P-Menge nach MSLN- und SPF-Düngeempfehlungen im Vergleich zu einer höheren P-Menge nach SLAN-Empfehlung verringert die P-Konzentrationen im Boden, ohne die Qualität des Rasens negativ zu beeinflussen, die unerwünschte Grasart *Poa annua* wird in der Grasnarbe unterdrückt, aber die Durchwurzelungstiefe des Rasens verringert sich. Es wurde auch erwartet, dass die SPF-Empfehlung, die die P-Konzentrationen im Boden nicht berücksichtigt, im Vergleich zur MLSN-Empfehlung zu höheren P-Mengen und damit unnötig höheren P-Konzentrationen im Boden führt, während die Rasenqualität gleichbleibt.

### Material und Methoden

In Deutschland wurde der Versuch auf dem Golfplatz des Golfclubs Osnabrück-Dütetal e.V. angelegt (Duete-DE). Die 18-Löcher-Anlage liegt in Lotte-Wersen, ca. 15 km von Osnabrück entfernt. In den Niederlanden lag der Versuch auf dem 27-Löcher-Golfplatz Prin-

cenbosch (Princen-NL), 55 km nordwestlich von Eindhoven. Das Klima in Duete-DE und Princen-NL ist nach den von BECK et al. (2018) modifizierten Köppen-Geiger-Klimaklassifikation als gemäßigt ozeanisch (Cfb) eingestuft. Weitere Lage- und Klimaeigenschaften sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Bauweise des Golfgrüns am Standort Duete-DE ist als K3 nach der Richtlinie für den Bau von Golfplätzen eingestuft (FLL, 2008). Über der Rasentragschicht hat sich seit Anlage des Grüns im Jahr 2000 ein sandig-humoser Pflegehorizont entwickelt. Das Golfgrün am Standort Princen-NL wurde gemäß den Spezifikationen der United States Golf Association (USGA) angelegt (USGA, 2018). Die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Rasentragschichten unterschieden sich dabei leicht zwischen den Grüns. Die Bodendichte lag auf dem Grün in Duete-DE bei 1,56 g cm<sup>-3</sup> und damit höher als in Princen-NL (1,42 g cm<sup>-3</sup>). Der in destilliertem Wasser gemessene Boden-pH-Wert lag bei pH 6,7 (Duete-DE) und pH 6,3 (Princen-NL). Der P-

Sättigungsgrad (DPS) war am Standort Duete-DE mit 36 % deutlich höher als in Princen-NL (17 %, Tabelle 3). Weitere P-Sorptionseigenschaften und die detaillierte Berechnung der Kationenaustauschkapazitäten (KAK) sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Die Narbe des langjährigen Golfgrüns in Duete-DE setzte sich zu Versuchsbeginn aus 45 % *Agrostis stolonifera* (Flechtstraußgras) und 55 % *Poa annua* (Einjährige Rispe) zusammen, war aber ursprünglich als *Agrostis stolonifera*-Grün charakterisiert. Die Schnitthöhe lag während und nach der Saison bei 3,5-4,0 mm. In Princen-NL bestand das Golfgrün aus *Festuca rubra* (Rotschwingel, 60 %) und *Agrostis capillaris* (Rotes Straußgras, 35 %) mit 5 % *Poa annua*, das auf einer Höhe von 4,5-5,5 mm geschnitten wurde.

Neben dem Mähen umfasste die praktische Pflege der Golfgrüns regelmäßiges Aerifizieren, Vertikutieren und Topdressen, Einsatz von Wetting Agents und regelmäßige Übersaat. Alle Nährstoffe, mit Ausnahme von P, wurden entspre-

Versuchsstandort	P-Sorption im Boden					Kationenaustauschkapazität (KAK)					
	Al <sub>ox</sub>	Fe <sub>ox</sub>	P <sub>ox</sub>	PSC	DPS	Ca	K	Mg	Na	H	KAK
	(g kg <sup>-1</sup> Boden)			(mmol kg <sup>-1</sup> Boden)	(%)	(cmol c <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> Boden)					
Duete-DE	0,08	0,36	0,05	<b>4,60</b>	<b>36</b>	2,30	0,09	0,46	< NG	0,00	<b>2,85</b>
Princen-NL	0,10	0,27	0,02	<b>4,26</b>	<b>17</b>	1,00	< NG	0,48	0,03	1,08	<b>2,56</b>

NG = Nachweisgrenze; ox = Oxalat-löslich;  
PSC = Phosphorus Sorption Capacity (= (Al<sub>ox</sub> (mmol kg<sup>-1</sup> Boden) + Fe<sub>ox</sub> (mmol kg<sup>-1</sup> Boden)) x 0.5);  
DPS = Degree of Phosphorus Saturation (= P<sub>ox</sub> (mmol kg<sup>-1</sup> Boden) / PSC (mmol kg<sup>-1</sup> Boden) x 100 (%));  
Al<sub>ox</sub>, Fe<sub>ox</sub> und P<sub>ox</sub> nach der Methode "Acid oxalate extractable Al, Si method" nach VAN REEUWIJK (2002); KAK: "Ammonium-acetat method", pH 7.00, ICP-OES; H<sup>+</sup> mittels Titration mit 0,05 M NaOH nach SUMNER und MILLER (1996).

Tab. 3: P-Sorption und Kationenaustauschkapazität im Boden der untersuchten Golfgrüns.

Versuchsstandort	N-Menge (g m <sup>-2</sup> j <sup>-1</sup> )				Gesamt
	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr	4. Jahr	
Duete-DE	18,0	19,0	27,0	-	64,0 <sup>a</sup>
Princen-NL	2,6	3,7	5,5	5,5	17,3

<sup>a</sup> Ges. N-Gabe für 3 Jahre am Standort Duete-DE, für 4 Jahre am Standort Princen-NL.

Tab. 4: Applizierte N-Düngemengen (g m<sup>-2</sup> j<sup>-1</sup>) für jedes Versuchsjahr und die Gesamtsumme.

chend der üblichen Praxis berechnet und gleichmäßig auf dem gesamten Versuchsgrün ausgebracht. Die Höhe der N-Düngung wurde vom Greenkeeper vor Ort jährlich festgelegt (Tabelle 4). Beim intensiv geführten *Agrostis stolonifera*-Golfgrün lag die jährlich ausgebrachte N-Menge je nach Versuchsjahr bei 18,0 bis 27,0 g m<sup>-2</sup>, auf dem extensiv geführten Fr + Ac-Golfgrün deutlich niedriger bei 2,6 bis 5,5 g m<sup>-2</sup>.

Die Feldversuche wurden als lateinisches Quadrat, in dem jede Variante

genau einmal in jeder Zeile und jeder Spalte vorkommt, mit vier Varianten (Kontrolle, MLSN, SPF, SLAN) und vier Wiederholungen angelegt (Abbildungen 1 und 2). Somit bestanden die Versuche aus je 16 Parzellen (Duete-DE: je 2,0 m x 2,0 m; Princen-NL: 2,0 m x 1,5 m). Die Versuche wurden im Juni 2017 (Princen-NL) bzw. Dezember 2017 (Duete-DE) angelegt.

Zu Beginn jeder Vegetationsperiode wurden die P-Mengen für die MLSN-, SPF- und SLAN-Variante entsprechend

der jeweiligen P-Düngeempfehlung berechnet. Für SPF entsprach die erforderliche P-Menge (g m<sup>-2</sup>) dem erwarteten jährlichen P-Entzug des Rasens, der nach ERICSSON et al. (2015) 12 % der N-Düngung für die jeweilige Vegetationsperiode entspricht. Darüber hinaus wurde angenommen, dass der gesamte ausgebrachte N mit dem Schnittgut entfernt wurde (KUSSOW et al., 2012).

Für die MLSN- und SLAN-Variante wurde die erforderliche P-Reserve im Boden (g m<sup>-2</sup>) am Ende der Vegetationsperiode (18 bzw. 54 mg kg<sup>-1</sup> Boden) zum erwarteten jährlichen P-Entzug (g m<sup>-2</sup>) addiert. Dabei wurden die standortspezifische Bodendichte und eine Bodentiefe von 20 cm berücksichtigt. Um schließlich die erforderlichen P-Düngemengen (g m<sup>-2</sup>) zu berechnen, wurde die am Ende der vorherigen Vegetationsperiode verbliebene P-Menge im Boden (g m<sup>-2</sup>) abgezogen. Die Tabelle 5 zeigt ein Beispiel für die Berechnung der jährlichen P-Düngemengen der einzelnen Varianten.



Abb. 1: Versuchsanlagen in Duete-DE.

(Foto: W. Prämaßing)



Abb. 2: Versuchsanlage in Princen-NL.

(Foto: Dokkuma)

Variante	P im Boden Nov. 2018 <sup>a</sup>	P im Boden Nov. 2018 <sup>b</sup>	Erwarteter P-Entzug durch Schnittgut 2019 <sup>c</sup>	Benötigte P Reserve im Boden am Ende der Vegetationszeit 2019 <sup>b</sup>	Ges. P- Menge für 2019
	(mg kg <sup>-1</sup> Boden)	(g m <sup>-2</sup> )			
Kontrolle	21	6,6	2,5	-	0,0
MLSN	23	7,2	2,5	5,6	1,0
SPF	27	8,3	2,5	-	2,5
SLAN	37	11,6	2,5	16,9	7,8

<sup>a</sup> Mehlich-3 Extraktion, Mittelwert von 4 Proben.  
<sup>b</sup> 0 - 20 cm Bodentiefe; 1,56 g cm<sup>-3</sup> Bodendichte.  
<sup>c</sup> 12 % der N-Düngermenge (21,0 g N m<sup>-2</sup>).

Tab. 5: Berechnung der P-Düngemengen für die 4 Versuchsvarianten am Beispiel des Standortes Duete-DE für das Jahr 2019 (2. Versuchsjahr).

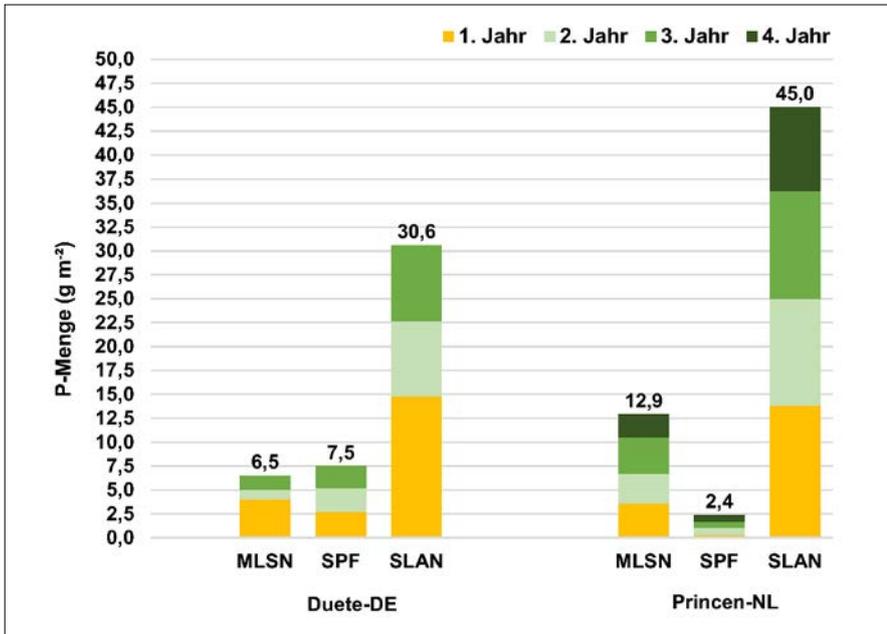


Abb. 3: Applizierte P-Düngemengen für die Standorte Duete-DE und Princen-NL pro Jahr für die Varianten MLSN, SPF und SLAN.

Daraus ergibt sich, dass jede Düngevariante nicht nur zwischen den beiden Versuchsstandorten, sondern auch in jedem der drei oder vier Versuchsjahre unterschiedliche P-Düngemengen erhielt. Die jährlichen P-Mengen für die Varianten MLSN, SPF und SLAN sind in Abbildung 3 dargestellt. In der praktischen Umsetzung wurden diese jährlichen P-Mengen gleichmäßig auf sechs oder sieben Applikationen pro Jahr aufgeteilt, etwa einmal pro Monat von April/Mai bis September/Oktober (2017 Princen-NL: vier Anwendungen). Als P-Dünger wurde ein Superphosphat (ICL Fertilizers Europe C. V.) mit einer P-Konzentration von 20 % (wasserlösliches P: 19,3 %) verwendet. Dieser Granulatdünger enthielt neben P auch 14,4 % Kalzium (Ca) und 1,2 % Schwefel (S). Der Dünger wurde gemahlen und in Wasser aufgelöst, bevor

er ausgebracht wurde. Nach der Düngerausbringung erfolgte eine vierminütige Bewässerung, um den Dünger von den Blättern zu waschen.

Die Bodenprobenahme zur Bestimmung des P-Gehaltes wurde mittels Bohrstock in der Tiefe 0-20 cm entnommen (Abbildung 4). Hierzu wurde aus 20 Einstichen pro Parzelle eine repräsentative Mischprobe erstellt. Reste von Gräsern wurden direkt entfernt, Rasenfilz verblieb in der Probe. Die luftgetrockneten Bodenproben wurden vor der Analyse bei 40 °C getrocknet und durch ein 2-mm-Sieb gesiebt. Zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren  $PO_4\text{-P}$  im Boden wurde der Nährstoff nach der in CARTER und GREGORICH (2008) beschriebenen Mehlich-3-Methode in einem Verhältnis von 1 : 10 Boden : Lösung (m/v) extrahiert. Zum

Nachweis der Orthophosphatformen wurde der Bodenextrakt anschließend kolorimetrisch mit der Molybdän-Methode nach MURPHY und RILEY (1962) gemessen. Die P-Konzentrationen werden in  $mg\ kg^{-1}$  Boden dargestellt.

Zur Bewertung der Rasenqualität wurde etwa alle vier Wochen von April/Mai bis Oktober/November (2017: Juli bis Oktober in Princen-NL) der Rasenaspekt auf einer Boniturskala von 1 bis 9 bonitiert. Der Rasenaspekt ist eine visuelle Bonitur der lebenden Bodenbedeckung, der Gleichmäßigkeit des Grüns, der Grünfärbung, der Feinheit der Gräser, des Krankheitsbefalls und der Narbendichte. Eine Boniturnote von 9 ist die beste und 1 die schlechteste. Eine Bewertung von  $\geq 6$  wird im Allgemeinen als akzeptabel angesehen (MORRIS, 2004). Der Deckungsgrad mit *Poa annua* wurde in Prozent der Parzellenfläche so bewertet, sodass dieser mit den Anteilen an ausgesäten Arten (z. B. *Agrostis stolonifera*), zweikeimblättrigen Unkräutern, Moos, von Krankheit befallenen Gräsern und offenem Boden 100 % der Parzellenfläche ausmachte.

Um die Durchwurzelung zu messen, wurden mit dem Stechzylinder zwei Proben pro Parzelle ausgestochen (Abbildung 5). Der darin intakte, hängende Wurzelzylinder wurde in Millimeter gemessen.

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels der Software Microsoft Excel und R. Für die Auswertung der Messergebnisse der Wurzellänge wurden dafür die zwei Messwiederholungen pro Parzelle arithmetisch gemittelt und in den folgenden Berechnungen somit als Mittelwert berücksichtigt. Als Voraussetzung für die Varianzanalyse erfüllten alle Daten die Kriterien der



Abb. 4: Entnahme der Bodenproben zur Nährstoffanalyse. (Fotos: A. Borchert)



Abb. 5: Stechzylinder zur Entnahme von Wurzelproben.

Versuchsstandort	Variante	PO <sub>4</sub> -P (mg kg <sup>-1</sup> Boden)					Alle Jahre
		Vor	nach 1J	nach 2J	nach 3J	nach 4J	
Duete-DE	Kontrolle	14 a	21 a	13 a	14 a	-	16,1 a
	MLSN	14 a	23 a	21 ab	25 a	-	22,7 ab
	SPF	17 b	27 ab	27 bc	29 a	-	27,4 b
	SLAN	15 ab	37 b	36 c	50 b	-	41,1 c
	ANOVA p-Wert	0,013	0,015	0,001	0,003	-	0,001*
	HSD (α=0,05)	2,4	12,3	9,5	18,2	-	-
Princen-NL	Kontrolle	7	9	7	8 a	7 a	8 a
	MLSN	7	10	7	12 a	7 a	9 a
	SPF	6	8	8	9 a	7 a	8 a
	SLAN	6	18	17	26 b	30 b	23 b
	ANOVA p-Wert	0,403	0,097	0,099	0,000	0,000	0,000*
	HSD (α=0,05)	ns	ns	ns	5,5	6,6	-

Vor= Vor Versuchsbeginn; J=Jahr/Jahre; \* Gemischtes Modell mit Messwertwiederholungen

Tab. 6: PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden (mg kg<sup>-1</sup> Boden) für die Standorte Duete-DE und Princen-NL für jedes Versuchsjahr und im Mittel aller Versuchsjahre. Unterschiedliche Buchstaben beschreiben signifikante Unterschiede zwischen den Düngevarianten.

Normalverteilung und Varianzhomogenität nach KÖHLER et al. (2002). Für die einfache Varianzanalyse wurde in R die Funktion „aov“ als lateinisches Quadrat ausgeführt, bei der Berechnung von signifikanten Unterschieden über die gesamte Versuchslaufzeit wurde ein gemischtes Modell mit Messwertwiederholungen in der Funktion „lmer“ verwendet. Um signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einzelner Termine bzw. über den gesamten Versuchszeitraum hinweg darstellen zu können, wurden die Daten mittels Tukey-Test über die Funktion „HSD.test“ im Package „agricolae“ nach HSU (1996) und STEEL et al. (1997) oder über die Funktion „cld/emmeans“ im Package „multcomp“ nach PIEPHO (2004) ausgewertet.

## Ergebnisse

Die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden unterschieden sich signifikant aufgrund der unterschiedlichen Düngevarianten an beiden Versuchsstandorten (p-Wert: 0,001 bzw. 0,000; Tabelle 6). Im Mittel über alle Beprobungstermine ließen sich die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden in die Reihenfolge MLSN < SPF < SLAN für das Duete-DE Golfgrün bringen. Dies führte zu PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden von 23-41 mg kg<sup>-1</sup> Boden (MLSN bzw. SLAN). Beim Golfgrün Princen-NL führte dagegen die Düngung nach MLSN zu leicht höheren PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen (9 mg kg<sup>-1</sup> Boden) als die nach SPF (8 mg kg<sup>-1</sup> Boden), aber auch zu geringeren Konzentrationen im Vergleich zu SLAN (23 mg kg<sup>-1</sup> Boden). An beiden Versuchsstandorten verringerten die Varianten SPF und MLSN die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen

im Boden signifikant im Vergleich zu SLAN, variierten jedoch nicht deutlich untereinander. Unterblieb eine P-Düngung, führte dies zu niedrigeren PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden im Vergleich zur MLSN oder SPF am Standort Duete-DE (signifikant: Kontrolle < SPF), aber nicht am Standort Princen-NL.

Auf dem *Agrostis stolonifera*-Grün Duete-DE lag die PO<sub>4</sub>-P-Konzentration im Boden unterhalb des MLSN-Richtwertes vor Versuchsbeginn. Nach dem ersten Versuchsjahr verdoppelte sich die PO<sub>4</sub>-P-Konzentration im Boden durch die Düngung nach SLAN im Vergleich zum Ausgangswert (15 mg kg<sup>-1</sup> Boden) und betrug 37 mg kg<sup>-1</sup> Boden (Abbildung 6). Der SLAN-Richtwert von 54 mg kg<sup>-1</sup> Boden wurde jedoch in keinem Versuchsjahr erreicht. Die

Düngung nach SPF und MLSN erhöhte ebenfalls die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden bis zum Ende des ersten Jahres, jedoch nicht so stark wie die SLAN-Düngung. Die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im 2. und 3. Versuchsjahr lagen im Bereich des MLSN-Richtwertes bei 21-25 mg kg<sup>-1</sup> Boden bei der MLSN-Variante und bei 27-29 mg kg<sup>-1</sup> Boden bei SPF. Die Kontroll- und MLSN-Variante reduzierten zudem die PO<sub>4</sub>-P-Konzentration im Boden im Vergleich zu SLAN nach dem ersten Versuchsjahr signifikant, ebenso wie die SPF-Variante zu Versuchsende.

Vor Versuchsbeginn lagen die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden auf dem Fr + Ac-Grün Princen-NL unter dem MLSN-Richtwert (6-7 mg kg<sup>-1</sup> Boden; Abbildung 6). Nach dem ersten Versuchsjahr war die PO<sub>4</sub>-P-Konzentration im Boden bei der SLAN-Variante mit 18 mg kg<sup>-1</sup> Boden dreimal so hoch wie der Ausgangswert und stieg nach vier Versuchsjahren auf 30 mg kg<sup>-1</sup> Boden an. Der SLAN-Richtwert wurde während des Versuchs nicht erreicht. Bei der MLSN-Düngevariante ließen sich PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen zwischen 7 und 12 mg kg<sup>-1</sup> Boden ermitteln, die nicht den MLSN-Richtwert erreichten. Die SPF-Variante wies noch geringere PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden auf (6-9 mg kg<sup>-1</sup> Boden). Nach drei und nach vier Jahren wiesen die Kontroll-, MLSN- und SPF-Varianten deutlich niedrigere PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden auf als SLAN. So verringerten diese die PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen je nach Variante und Termin auf 7-12 mg kg<sup>-1</sup> Boden im Vergleich zu 26-30 mg kg<sup>-1</sup> Boden bei der SLAN-Variante.

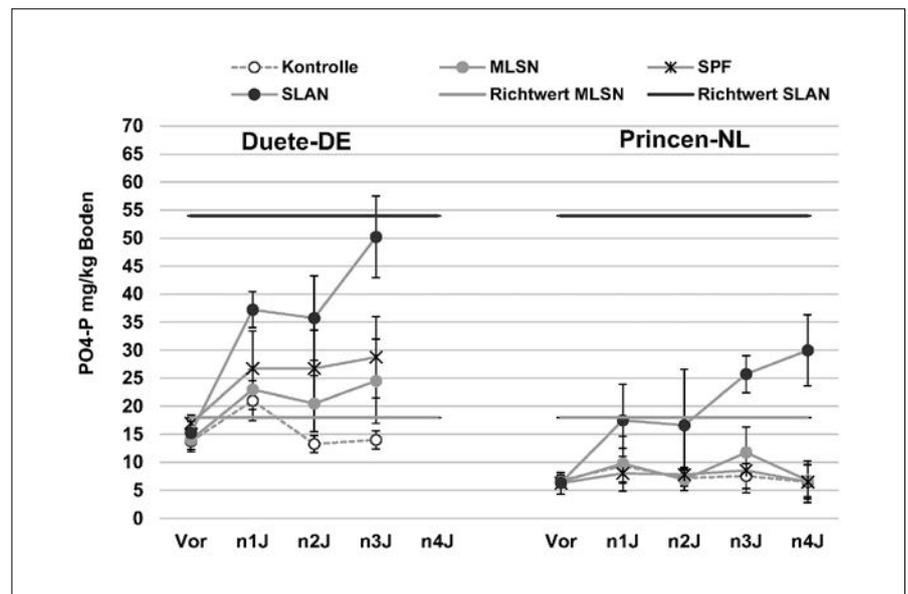


Abb. 6: Veränderung der PO<sub>4</sub>-P-Konzentrationen im Boden (mg kg<sup>-1</sup> Boden) über den Versuchszeitraum von 3 Jahren (Duete-DE) und 4 Jahren (Princen-NL).

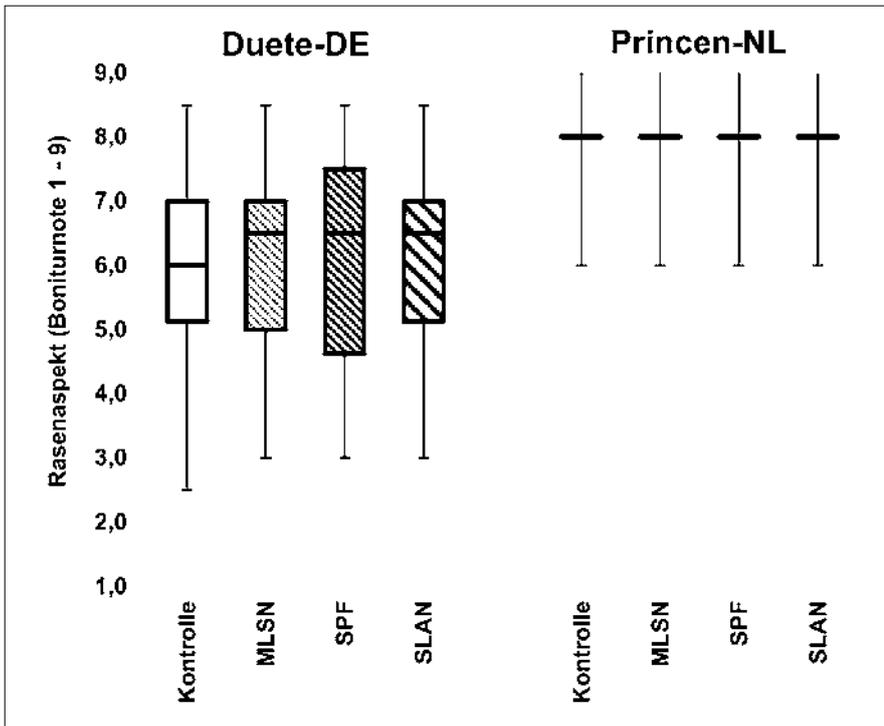


Abb. 7: Auswirkung der verschiedenen P-Düngevarianten auf den Rasenaspekt (Boniturnoten 1-9) über alle Termine und beide Standorte. Boxplot mit Median als vertikale dicke Linie innerhalb der Box, die Enden der Box stellen das obere und untere Quartil dar (Q3-Q1 = Interquartilsbereich) und die beiden Linien außerhalb der Box (Whisker) zeigen die höchste und niedrigste Boniturnote.

Unabhängig von den P-Düngevariante wurde der Rasenaspekt im Mittel aller Boniturtermine mit 6,0 bis 8,0 bewertet (Abbildung 7) und lag damit über dem Schwellenwert ( $\geq 6,0$ ) für eine akzeptable visuelle Rasenqualität laut MORRIS (2004). Auf dem Golfgrün Duete-DE variierten die Boniturnoten je Düngevariante mehr als auf dem Grün am Standort Princen-NL. Dabei lagen die mittleren 50 % der Boniturnoten für die Kontroll- und SLAN-Variante zwischen 5,1 (Q1) und 7,0 (Q3) mit einem Interquartilsabstand (IQR) von 1,9, während die Noten auf den SPF-Parzellen noch stärker streuten (IQR 2,9). Während des 3-jährigen Versuchszeitraums stiegen die mittleren Boniturnoten für die MLSN-, SPF- und SLAN-Varianten an diesem Standort zudem an. Die Parzellen der MLSN-Variante wurden im ersten Versuchsjahr mit einem Wert von 5,5 und am Ende des Versuchs mit einem deutlich höheren Wert von 7,0 bewertet, während die SPF-Variante von 5,0 auf 7,5 und die SLAN-Variante von 5,5 auf 7,3 anstieg. Innerhalb der einzelnen Jahre schwankten die Boniturnoten unabhängig von den P-Varianten, wobei die niedrigsten Noten häufig im Frühjahr vergeben wurden. Am Standort Princen-NL gab es weder zwischen den Varianten noch innerhalb der einzelnen Jahre deutliche Unterschiede, jedoch zeigten die Varianten MLSN und SPF

mit im Schnitt Note 7,5 bzw. 7,8 leicht geringere Boniturnoten als SLAN und die Kontrolle (Note 8,0).

Der *Poa annua*-Deckungsgrad im Schnitt aller Versuchsjahre wies an keinem der beiden Standort signifikante Unterschiede zwischen den Dün-

gevarianten auf ( $p > 0,05$ ). Im Schnitt lag der Deckungsgrad auf dem Grün am Standort Duete-DE zwischen 37,2 % (Kontrolle) und 38,3 % (SLAN), auf dem Grün am Standort Princen-NL zwischen 6,1 % (Kontrolle) und 7,1 % (SPF).

Auf der Versuchsfläche Duete-DE mit dem anfänglich hohen *Poa annua*-Deckungsgrad von  $\approx 50$  % hatten die verschiedenen P-Düngevarianten keine signifikante Auswirkung auf das Wachstum von *Poa annua* in den einzelnen Versuchsjahren. Vom Beginn bis zum Ende des Versuchs verringerte sich aber der prozentuale *Poa annua*-Anteil in der Narbe unabhängig von den Düngevarianten (Abbildung 8). Beim Fr + Ac-Grün Princen-NL, das vor Versuchsbeginn einen *Poa annua*-Deckungsgrad von  $< 10$  % aufwies, hatten die verschiedenen P-Varianten ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf das Wachstum von *Poa annua* in den einzelnen Jahren.

Die durchschnittliche Durchwurzelungstiefe über alle Termine hinweg wurde durch die verschiedenen P-Düngevarianten an keinem der beiden Versuchsstandorte beeinflusst ( $p > 0,05$ ). Auch bezogen auf die einzelnen Versuchsjahre hatten die P-Varianten keinen Einfluss auf die Durchwurzelungstiefe. Am Standort Duete-DE war die Durchwurzelungstiefe mit 30-105 mm am geringsten, wobei sich nur geringe Veränderungen in der Durchwurzelung-

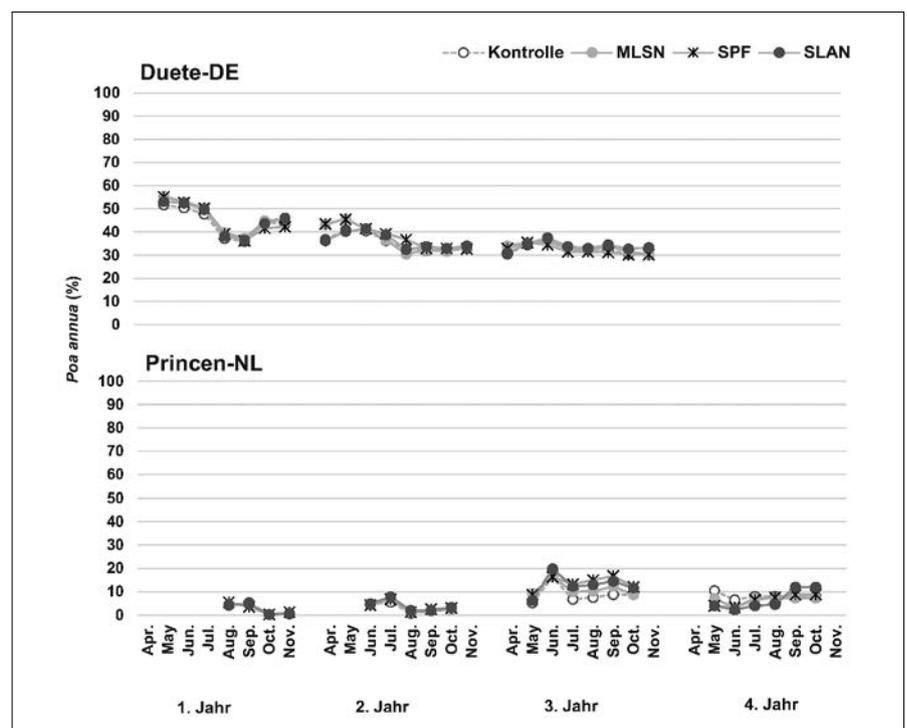


Abb. 8: Auswirkung der verschiedenen P-Düngevarianten auf den *Poa annua*-Deckungsgrad (%) für den Standort Duete-DE und Princen-NL.

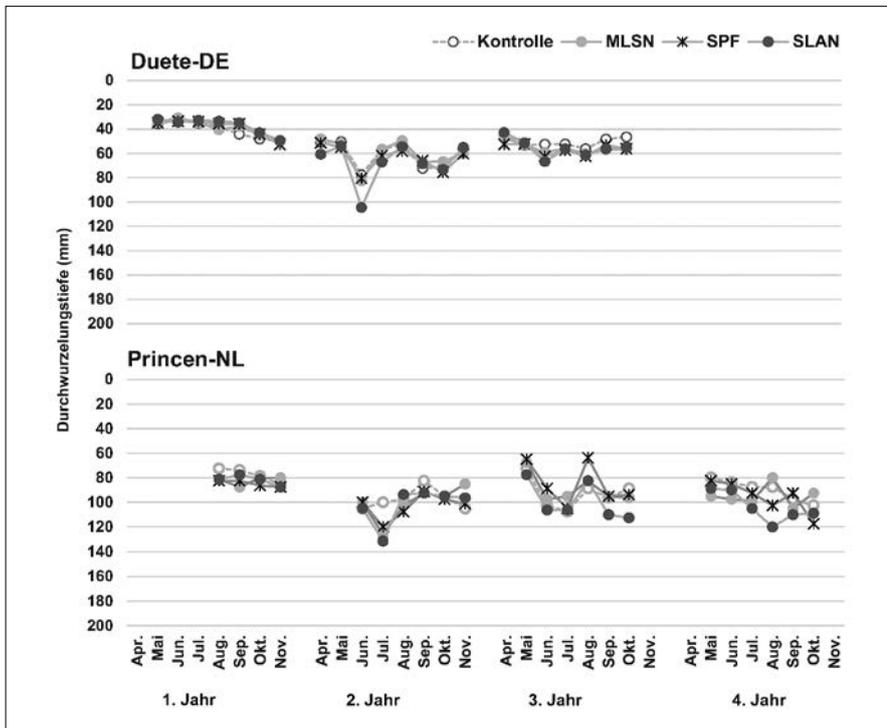


Abb. 9: Auswirkung der verschiedenen P-Düngevarianten auf die Durchwurzelungstiefe (mm) für den Standort Duete-DE und Princen-NL.

stiefe innerhalb der einzelnen Jahre erkennen ließen (Abbildung 9). Nur im zweiten Jahr ließen sich längere Wurzeln im Frühsommer messen. Auf der Versuchsfläche Fr + Ac am Standort Princen-NL betrug die Durchwurzelungstiefe  $\approx 70$ -130 mm.

## Diskussion

Die MSLN- und SPF-Empfehlungen verringertem im Vergleich zu den SLAN-Empfehlungen die langfristige und kurzfristige P-Ausbringung auf Golfgrüns und hielten die  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden auf einem niedrigeren Niveau, konnten jedoch P-Verluste mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht verhindern. Dabei zeigten sich allerdings auch Unterschiede zwischen den beiden Golfgrüns, was darauf hindeutet, dass die Eigenschaften der Golfgrüns, z. B. Bauweise, Rasentragschicht, Klima und Pflege, einen Einfluss auf die P-Düngung haben. Auf dem Grün Duete-DE führte die SPF-Empfehlung zu höheren P-Düngemengen als MSLN, obwohl dieses *Agrostis stolonifera*-Grün P-Konzentrationen im Boden unterhalb des MSLN-Richtwertes vor dem Versuch aufwies. Aufgrund des schnellen Anstiegs der  $PO_4$ -P-Konzentration über den MSLN-Richtwert nach dem ersten Jahr (23  $mg\ kg^{-1}$  Boden) führte die MSLN-Düngeempfehlung zu den niedrigsten Gesamt-P-Mengen im Vergleich zu SPF

und SLAN. Nur im ersten Versuchsjahr waren die jährlichen P-Mengen für MSLN höher (4,0  $g\ m^{-2}$ ) als für SPF (2,7  $g\ m^{-2}$ ), da die  $PO_4$ -P-Konzentration im Boden unter dem MSLN-Richtwert lag. Danach bewegten sich die P-Mengen auf einem gleichbleibend niedrigen Niveau. Wie erwartet, führte die SLAN-Empfehlung zu den höchsten jährlichen P-Mengen bis zu 14,8  $g\ m^{-2}$  und zu den höchsten  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden, die im Laufe der Zeit zunahmen, den Richtwert aber nicht erreichten. Dies liegt wahrscheinlich an dem niedrigen PSC und hohen DPS (36 %), die belegen, dass das Grün tendenziell wenig P speichern kann und bereits vor Versuchsbeginn schon ein hoher Anteil der Speicherstellen belegt war. Nach DESMET et al. (1996) deutet ein DPS  $> 30\ %$  zudem auf ein höheres Risiko von P-Verlusten hin. Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass auf Grüns wie am Standort Duete-DE derart hohe P-Mengen basierend auf der SLAN-Empfehlung dazu führen, dass P verloren geht, da der Boden nicht mehr P sorbieren kann. Nicht jedoch bei der MSLN-Düngeempfehlung, außer im ersten Jahr nach der Umstellung auf MSLN. Zu diesem Zeitpunkt könnte die P-Menge aufgrund des niedrigen PSC zu hoch sein. Die SPF-Empfehlung reduzierte die P-Düngermenge im Vergleich zu SLAN, aber nicht im Vergleich zu MSLN. Dieser Standort hat auch gezeigt, dass P zunehmend an Ca bindet, wenn der pH-Wert im Boden steigt.

Im Vergleich zu dem *Agrostis stolonifera*-Grün wies das Fr + Ac-Grün am Standort Princen-NL sehr niedrige Ausgangs- $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden auf ( $\approx 7\ mg\ kg^{-1}$  Boden). Die  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden bei Düngung nach MSLN-Empfehlung schwankten zwischen den Versuchsjahren, erreichten aber nie den MSLN-Richtwert. Gleichzeitig führte dies zu jährlichen P-Mengen von 2,4 bis 3,6  $g\ m^{-2}$ , die höher waren als die Mengen nach SPF-Empfehlung (0,3 bis 0,7  $g\ m^{-2}$ ). Die sehr geringe jährliche N-Düngung ( $< 6,0\ g\ m^{-2}$ ) verstärkte die Unterschiede zwischen den auszubringenden P-Mengen der beiden Empfehlungen. Durch die SLAN-Empfehlung stiegen die  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden von Anfang bis Ende des Versuchs von 6 auf 30  $mg\ kg^{-1}$  Boden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Unterschiede zwischen der angestrebten  $PO_4$ -P-Konzentration im Boden (54  $mg\ kg^{-1}$  Boden) und den gemessenen Konzentrationen auf P-Verluste zurückzuführen sind, da der PSC genauso niedrig war wie auf dem Grün am Standort Duete-DE. Daher scheint auf einem extensiven Golfgrün wie am Standort Princen-NL die SPF-Empfehlung am besten geeignet zu sein, um die P-Mengen zu reduzieren. Dagegen können Düngeempfehlungen auf der Grundlage von Bodenproben zu unnötig hohen P-Mengen führen.

Keine der getesteten P-Düngeempfehlungen erreichte den SLAN-Richtwert und damit eine ausreichende P-Versorgung, was so nicht zu erwarten war. Unter Berücksichtigung des MSLN-Richtwertes ließen sich auf dem Grün Duete-DE alle Varianten mit Ausnahme der ungedüngten Kontrolle als ausreichend einstufen. Am Standort Princen-NL führte die SLAN-Empfehlung gerade einmal zu  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden, die über dem MSLN-Grenzwert lagen. Anhand dieser Bewertung lässt sich somit nicht hinreichend vorhersagen, ob die reduzierte P-Applikation basierend auf MSLN- und SPF-Empfehlungen eine ausreichende P-Versorgung gewährleistet. Um diese Frage zu beantworten, muss die Rasenqualität bewertet werden, da die P-Verfügbarkeit nach CHRISTIANS et al. (1979) darauf einen erheblichen Einfluss hat.

Eine akzeptable Rasenqualität wird beim Bewerten des Rasenaspektes durch die Boniturnote  $\geq 6,0$  ausgedrückt (MORRIS, 2004). In dieser Studie lagen die mittleren Boniturnoten (Median) in allen Versuchsjahren zwi-

schen 6,0 und 8,0, unabhängig von der P-Düngeempfehlung. Folglich war die visuelle Qualität des Rasens hoch, selbst dann, wenn kein P ausgebracht wurde. Dies deutet darauf hin, dass die ausgebrachten P-Mengen und/oder die  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden ausreichend waren, um die Qualitätsanforderungen des Rasens zu erfüllen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auf dem Golfgrün Duete-DE nach zwei Versuchsjahren ohne P-Düngung die  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden unter den MLSN-Grenzwert fielen, die Boniturnoten aber weiterhin zufriedenstellend waren. Auf dem Grün Princen-NL lagen die  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden für MLSN, SPF und die Kontroll-Variante sogar kontinuierlich unter dem MLSN-Richtwert ohne sich auf den Rasenaspekt auszuwirken. Die Tatsache, dass die Grasnarben hohe Boniturnoten und gleichzeitig niedrige  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden unterhalb des MLSN-Richtwertes aufwiesen, deutet darauf hin, dass sogar noch niedrigere Boden-P-Gehalte und/oder P-Mengen als nach MLSN-Empfehlung für eine ausreichende P-Düngung von Golfgrüns geeignet sein könnten.

Eine Studie von KREUSER et al. (2012) auf einem sandigen *Agrostis stolonifera*-Grün weist in die gleiche Richtung. Diese legt 6 und 11 mg P kg<sup>-1</sup> Boden (Mehlich-3) als einen kritischen Punkt nahe. Das Fr + Ac-Grün Princen-NL reagierte mit einer hohen mittleren Boniturnote von 7,0 auf niedrige  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden von 7-12 mg kg<sup>-1</sup> Boden. Dies deutet darauf hin, dass sehr niedrige P-Gehalte für extensivere Fr + Ac-Golfgrüns ausreichend sein könnten. Dies stimmt mit den Ergebnissen von CHANG et al. (2014) überein, die zeigten, dass *Festuca rubra* bei der Etablierung niedrigere kritische P-Gehalte aufweist als *Agrostis stolonifera*. Nichtsdestotrotz lassen die Ergebnisse nicht den Schluss zu, die P-Düngung auf Golfgrüns vollständig einzustellen, da die  $PO_4$ -P-Konzentration im Boden, wenn auch nur langsam, ohne P-Düngung im Laufe der Zeit abnahm.

Zwar hatten die unterschiedlichen P-Düngermengen auf beiden Standorten keinen deutlichen Einfluss auf die visuelle Rasenqualität, jedoch verbesserte sich der Rasenaspekt über die Versuchslaufzeit auf dem Grün Duete-DE. Dieser Effekt ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass sich die Bestandszusammensetzung veränderte. Dabei nahm der Anteil an *Poa annua* unabhängig von der ausgebrach-

ten P-Menge von  $\approx 50$  % auf 30 % ab. Dementsprechend wirkte das Golfgrün aufgrund der höheren Rasendichte und der dunkleren Farbe gleichmäßiger, was am Ende des dreijährigen Versuchs zu einer signifikant höheren Bewertung des Rasenaspekts führte.

Das Wachstum von *Poa annua* beeinträchtigt nicht nur die optische Qualität eines Golfgrüns, sondern auch die Spielqualität. Laut NOLAN (2015) führt ein hoher Anteil an *Poa annua* auf *Agrostis stolonifera*-Golfgrüns zu einer weicheren Oberfläche und nach TOLER (2007) zu einem verändertem Ballrollverhalten. Daher sind Pflegemaßnahmen, die *Poa annua* unterdrücken, von großem Interesse. In diesem Zusammenhang kann eine niedrige P-Versorgung vorteilhaft sein und nach HÄHNDEL (2019) *Poa annua* in der Grasnarbe reduzieren. Dagegen fördert eine sehr hohe P-Versorgung *Poa annua* laut mehrerer Studien, z. B. GUERTAL u. MC ELROY (2018). Die im Rahmen des SUSPHOS-Projekts durchgeführten Versuche konnten jedoch keine dieser Theorien überzeugend bestätigen. Weder auf dem *Agrostis stolonifera*-Grün am Standort Duete-DE mit hohem *Poa annua*-Deckungsgrad zu Beginn des Versuches, noch auf dem Fr + Ac-Grün in Princen-NL ließen sich signifikante Unterschiede im Deckungsgrad nach unterschiedlicher P-Düngung feststellen. Weder reduzierte eine geringere P-Düngung den *Poa annua*-Anteil in der Narbe, noch begünstigten hohe P-Mengen das unerwünschte Gras. In den vorliegenden Versuchen konnte auch keine Korrelation zwischen den  $PO_4$ -P-Konzentrationen im Boden und *Poa annua* festgestellt werden. Interessant ist jedoch, dass auf dem Versuchsgrün Duete-DE die ungewöhnlich warmen Witterungsbedingungen und eine konsequente Übersaat mit *Agrostis stolonifera* eine deutlich stärkere Wirkung auf *Poa annua* hatten als die P-Düngung. Nach VARGAS (1994) ist bekannt, dass *Poa annua* empfindlich auf hohe Temperaturen und begrenzte Wasserversorgung reagiert, was offensichtlich der Fall war.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Rasenqualität ist die Durchwurzelungstiefe, da diese laut LYONS et al. (2008) einen Einfluss auf die Toleranz gegenüber Trockenheit und Scherfestigkeit hat. Die Bedeutung der P-Düngung dafür wird jedoch kontrovers diskutiert. Einerseits ist P wichtig für das Wurzelwachstum, was z. B. in MARSCHNER und RENGEL (2012) beschrieben ist. Andererseits ist bekannt, dass niedri-

gere P-Düngermengen oder P-Dünger, der weiter von den Wurzeln entfernt platziert wird, das Wurzelwachstum stimulieren können (LYONS et al., 2008). Anders als erwartet, führten die im Versuch ausgebrachten unterschiedlichen P-Mengen jedoch nur selten zu signifikanten Unterschieden in der Durchwurzelungstiefe, was vor allem auf die hohe Streuung der Teilproben zurückzuführen ist. Interessant war jedoch, dass unabhängig von den P-Varianten die Durchwurzelungstiefe zwischen den beiden Golfgrüns variierte. Ein Grund dafür könnte die Zusammensetzung der Grasnarbe sein, da *Poa annua* im Vergleich zu *Agrostis stolonifera* kürzere Wurzeln hat (TURGEON, 2012). Auf dem Golfgrün Duete-DE scheint diese Erklärung zuzutreffen, da die Wurzel-tiefe während des Versuchs zunahm, während der *Poa annua*-Deckungsgrad abnahm. Dennoch kann die Zusammensetzung der Grasnarbe nicht der einzige Grund sein. Ein weiterer könnte die Bodenverdichtung sein. Die im Vergleich zu allen Versuchsstandorten höchste Bodendichte am Standort Duete-DE (1,56 g cm<sup>-3</sup>) könnte darauf hindeuten, dass dieses Grün tendenziell stärker verdichtet ist und damit das Wurzelwachstum beeinflusst. Auf dem Fr + Ac-Golfgrün in Princen-NL sind die festgestellten Veränderungen in der Durchwurzelungstiefe zwischen den Versuchsjahren eher durch die klimatischen Bedingungen (heiße Sommer) und die Pflegemaßnahmen (z. B. Übersaat, Bewässerung) zu erklären. Dabei konnte nicht bestätigt werden, dass Rasen bei hohen Temperaturen im Sommer positiv auf eine höhere P-Zufuhr reagiert, wie CARROW et al. (2001) berichten. Niedrigere P-Mengen aufgrund von MLSN und SPF scheinen also nicht von Nachteil zu sein. Es könnte jedoch von Interesse sein, in einzelnen Jahren eine der Jahreszeit angepasste P-Düngung vorzunehmen.

Für die praktische P-Düngung von Golfgrüns lässt sich schlussfolgern, dass die MLSN- und SPF-Empfehlungen geeignet sind, die P-Zufuhr im Vergleich zu einer Düngung nach SLAN zu verringern, ohne sich nachteilig auf die Rasenqualität auszuwirken. Dadurch wird der P-Düngereinsatz minimiert und diese nicht erneuerbare Ressource geschont. Für *Agrostis stolonifera*- und Fr + AC-Golfgrüns auf sandigen Rasentragschichten ist daher die SLAN-Empfehlung als ungeeignet einzustufen. Diese führte zu unnötig hohen P-Düngemengen, die den Rasenaspekt jedoch nicht verbesserten. Auf einem *Agrostis stolonifera*-Golfgrün mit in-

tensiver N-Düngung scheint eine reduzierte P-Düngung auf Basis der MLSN-Empfehlung am besten geeignet, um eine gute Rasenqualität bei geringer  $PO_4$ -P-Konzentration im Boden zu gewährleisten. Die SPF-Empfehlung, die die Bodenanalyse nicht berücksichtigt, ist ebenfalls geeignet, sorgt aber immer dann für höhere P-Düngermengen als bei Düngung nach MLSN, wenn die Rasentragschicht P gut speichern kann und so die P-Konzentration im Boden den MLSN-Richtwert zügig erreicht und halten kann. Ist die N-Düngung gleichzeitig mittel bis hoch, liegen die P-Düngergaben über denen nach MLSN-Empfehlung.

Es ließ sich aber auch feststellen, dass je nach Golfgrün die MLSN-Düngerempfehlung nicht zu den geringsten Düngermengen und niedrigsten P-Konzentrationen im Boden führen muss. Die Düngung nach MLSN-Empfehlung kann auch zu höheren P-Gaben führen, wenn die Rasentragschicht P nicht ausreichend speichern kann und somit der MLSN-Richtwert nicht erreicht wird. Bei Fr + Ac-Golfgrüns mit extensiver N-Düngung scheint daher die SPF-Empfehlung am besten geeignet, falls das P-Speichervermögen der Rasentragschicht gering ist. Gleichzeitig hat sich gezeigt, dass auf solch einem Golfgrün die  $PO_4$ -P-Konzentration im Boden sogar auf  $7 \text{ mg kg}^{-1}$  Boden (Mehlich-3) sinken kann, ohne dass sich dies negativ auf die Rasenqualität auswirkte. Diese P-Konzentration im Boden ist damit nochmals deutlich niedriger als der MLSN-Richtwert.

Bisher wurde die Fähigkeit eines Bodens, P zu binden, in keiner P-Düngerempfehlung berücksichtigt. Die aktuelle Untersuchung hat jedoch gezeigt, dass Parameter wie, z. B. PSC und DPS, wichtige Kriterien für eine nachhaltige P-Düngung auf Golfgrüns sein könnten. Weitere Untersuchungen sollten durchgeführt werden.

## Literatur

- AAMLID, T.S. u. B. SANDELL, 2018: MLSN-gjødsling av golfgress. Gressforum 3, 15-17.
- AMELUNG, W., 2018: Böden als Pflanzenstandorte. In: Amelung, W., H.P. Blume, H. Fleige, R. Horn, E. Kandeler, I. Kögel-Knabner, R. Kretschmar, K. Stahr u. B.M. Wilke (Hrsg.) „Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde“. Berlin, Germany: Springer Spektrum, 536-547.
- BECK, H.E., N.E. ZIMMERMANN, T.R. MC VICAR, N. VERGOPOLAN, A. BERG u. E.F. WOOD, 2018: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. Scientific Data 5, 180-214.
- BELL, G.E., 2011: Turfgrass Physiology and Ecology – Advanced Management Principles. Wallingford, Oxfordshire, Great Britain: CABI.
- BOCK, E.M. u. Z.M. EASTON, 2020: Export of nitrogen and phosphorus from golf courses.
- CARROW, R.N., D.V. WADDINGTON u. P.E. RIEKE, 2001: Turfgrass Soil Fertility and Chemical Problems – Assessment and Management. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- CARROW, R.N., L.J. STOWELL, W.D. GELERTNER, S. DAVIS, R.R. DUNCAN u. J. SKORULSKI, 2004a: Clarifying soil testing: II. Choosing SLAN extractants for macronutrients. Golf Course Management 72, 189-193.
- CARROW, R.N., L.J. STOWELL, W.D. GELERTNER, S. DAVIS, R.R. DUNCAN u. J. SKORULSKI, 2004b: Clarifying soil testing: III. SLAN sufficiency ranges and recommendations. Golf Course Management 72, 194-198.
- CARTER, M.R. u. E.G. GREGORICH, 2008: Soil Sampling and Methods of Analysis. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- CHANG, Z., X., JIN und D. LI 2014: Phosphorus responses vary among cool-season turfgrasses during establishment from seed. Agronomy Journal 106, 1975-1980.
- CHRISTIANS, N.E., D.P. MARTIN u. J.F. WILKINSON, 1979: Nitrogen, phosphorus, and potassium effects on quality and growth of kentucky bluegrass and creeping bentgrass. Agronomy Journal 71, 564-567.
- CHRISTIANS, N.E., 2007: Fundamentals of Turfgrass Management. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- CLIMATE-DATA, 2021: Climate in Osnabrück Germany. <https://de.climate-data.org/europa/deutschland/niedersachsen/osnabrueck-2121/#climate-table> (Zuletzt besucht 28.05.2022).
- DAHL JENSEN, A.M., 2012: Playing quality on the golf course. Sterf brochure. <http://www.sterf.org/Media/Get/1223/playing-quality-on-the-golf-course.pdf> last accessed October 5, 2021.
- DESMET, J., G. HOFMAN, J. VANDERDEELEN, M. VAN MEIRVENNE u. L. BAERT, 1996: Phosphate enrichment in the sandy loam soils of West-Flanders, Belgium. Fertilizer Research 43, 209-215.
- ERICSSON, T., K. BLOMBÄCK u. A. KVALBEIN, 2015: Precision fertilisation – from theory to practice. Sterf brochure. <http://www.sterf.org/Media/Get/1228/precision-fertilisation-from-theory-to-practice.pdf> (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- FLL, 2008: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. FLL-Richtlinie für den Bau von Golfplätzen – Golfplatzbaurichtlinie. Bonn
- GUERTAL, E.A., 2006: Phosphorus movement and uptake in bermudagrass putting greens. USGA Turfgrass and Environmental Research Online 5, 1-7.
- GUERTAL, E.A. u. J.S. MC ELROY, 2018: Soil type and phosphorus fertilization affect *Poa annua* growth and seedhead production. Agronomy Journal 110, 2165-2170.
- HÄHNDEL, R., 2019: Rasen. In: Wissemeyer, A., Olf, H.-W. (Hrsg.) „Diagnose des Ernährungszustands von Kulturpflanzen“. Themenbibliothek Pflanzenproduktion, AGRIMEDIA: ERLING Verlag, 180-189.
- HSU, J., 1996: Multiple Comparisons – Theory and Methods. Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.
- KÖHLER, W., G. SCHACHTEL u. P. VOLESKE, 2002: Biostatistik – Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer.
- KREUSER, W.C., P.H. PAGLIARI u. D.J. SOLDAT, 2012: Creeping bentgrass putting green Mehlich-3 soil test phosphorus requirements. Crop Science 52, 1385-1392.
- KROGSTAD, T., 1992: Metoder for jordanalyse. Issue 6/1992. Ås, Norwegen: Norges Landbrukskøleskule.
- KUSSOW, W.R., D.J. SOLDAT, W.C. KREUSER u. S.M. HOULIHAN, 2012: Evidence, regulation, and consequences of nitrogen-driven nutrient demand by turfgrass. International Scholarly Research Network Agronomy 2012, 1-9.
- KVALBEIN, A. u. T.S. AAMLID, 2016: Gjødsling som ledd i integrert plantevern. Faktablad - Integrert plantevern. Sterf brochure. <http://www.sterf.org/Media/Get/2433/gjodsling-norsk-160420.pdf> (Zuletzt besucht 28.05.2022).
- LEINWEBER, P., F. LÜNSMANN u. K.U. ECKHARDT, 1997: Phosphorus sorption capacities and saturation of soils in two regions with different livestock densities in northwest Germany. Soil Use and Management 13, 82-89.
- LOOKMAN, R., K. JANSEN, R. MERCKX u. K. VLASSAK, 1996: Relationship between soil properties and phosphate saturation parameters a transect study in northern Belgium. Geoderma 69, 265-274.
- LYONS, E.M., R.H. SNYDER u. J.P. LYNCH, 2008: Regulation of root distribution and depth by phosphorus localization in *Agrostis stolonifera*. HortScience 43, 2203-2209.
- MARSCHNER, P. u. Z. RENGL, 2012: Nutrient availability in soils. In: Marschner, P. (Hrsg.): Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Amsterdam, The Netherlands; Boston, MA, USA: Academic Press.
- MC CARTY, L.B., 2011: Best Golf Course Management Practices – Construction, Watering, Fertilizing, Cultural Practices, and Pest Management Strategies to Maintain Golf Course Turf with Minimal Environmental Impact. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall.
- MEHLICH, A., 1984: Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis 15, 1409-1416.
- MENGEL, K. u. E.A. KIRKBY, 2001: Principles of Plant Nutrition. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- MORRIS, K.N., 2004: A guide to NTEP turfgrass ratings. National Turfgrass Evaluation Program <http://www.ntep.org/reports/ratings.htm#quality> (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- MÜLLER-BECK, K.G., 2019: Grünqualität – Smoothness, Trueness, Firmness. Presentation at the GVD-Jahrestagung 2019. [https://www.rasengesellschaft.de/files/downloads/rasenthema/2019/Vortrags-Handout%20K.%20Müller-Beck\\_08\\_2019.pdf](https://www.rasengesellschaft.de/files/downloads/rasenthema/2019/Vortrags-Handout%20K.%20Müller-Beck_08_2019.pdf) (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- MURPHY, J. u. J.P. RILEY, 1962: A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Analytica Chimica Acta 27, 31-36.

- NELSON, D.W. u. L.E. SOMMERS, 1996: Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L. (Hrsg.) „Methods of Soil Analysis“. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1201–1229.
- THIEME-HACK, M., 2018: Handbuch Rasen. Stuttgart Hohenheim, Germany: Ulmer.
- TOLER, J.E., 2007: Postemergent annual bluegrass control in dormant non-overseeded bermudagrass turf. *HortScience* 42, 670-672.
- TROTT, H., 2008: Kalkwert von Düngemitteln – eine Bewertung von Düngesystemen –. Präsentation auf der Tagung „Dügekalk-Hauptgemeinschaft“ February 19, 2008 in Fulda. <https://docplayer.org/178101073-Kalkwert-von-duengemitteln-eine-bewertung-von-duengesystemen.html> (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- TURGEON, A.J., 2012: Turfgrass management. Boston, MA, USA: Prentice Hall.
- ULÉN, B., M. BECHMANN, J. FÖLSTER, H.P.JARVIE u. H. TUNNEY, 2007: Agriculture as a phosphorus source for eutrophication in the north-west European countries, Norway, Sweden, United Kingdom and Ireland: a review. *Soil Use and Management* 23, 5-15.
- USGA, 2018: A guide to constructing the USGA putting green. <https://archive.lib.msu.edu/tic/usgamisc/monos/2018recommendationsmethodputtinggreen.pdf> (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- VAN REEUWIJK, L.P., 2002: Procedures for Soil Analysis. Wageningen, The Netherlands: International Soil Reference and Information Centre.
- VARGAS, J.M., 1994: Management of Turfgrass Diseases. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- VARGAS, J.M. u. A.J. TURGEON, 2004: *Poa annua* – Physiology, Culture, and Control of Annual Bluegrass. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons.
- VDLUFA, 2012: Methodenbuch I – Bestimmung von Phosphor und Kalium im Calcium-Acetat-Lactat-Auszug A 6.2.1.1. Darmstadt, Germany: VDLUFA-Verlag.
- WIESLER, F., T. APPEL, K. DITTERT, T. EBERTSEDER, T. MÜLLER, L. NÄTSCHER, H.-W. OLFS, M. REX, K. SCHWEITZER, D. STEFFENS, F. TAUBE u. W. ZORN, 2018: Standpunkt: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Speyer, Deutschland: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. VDLUFA.
- WOODS, M.S., L.J. STOWELL u. W.D. GELERNTER, 2014: Just what the grass requires. Using minimum levels for sustainable nutrition. *Golf Course Management* 82, 132-136, 138.
- WOODS, M.S., L.J. STOWELL u. W.D. GELERNTER, 2016: Minimum soil nutrient guidelines for turfgrass developed from Mehlich 3 soil test results. *PeerJ Preprints* 4:e2144v1. <https://peerj.com/preprints/2144v1/> (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- NOLAN, C., 2015: Greens playing quality. Sterf Seminar Copenhagen and Hoor. <http://www.sterf.org/Media/Get/2179/nolan-greens-playing-quality.pdf> last accessed June 10, 2021.
- PESSARAKLI, M., 2008: Handbook of Turfgrass Management and Physiology. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- PIEPHO, H.-P., 2004: An algorithm for a letter-based representation of all-pairwise comparisons. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 13, 456-466.
- R CORE TEAM, 2013: R: A language and environment for statistical computing. <http://www.R-project.org/> (zuletzt besucht: 28.05.2022).
- RALEY, R., P. LANDSCHOOT u. J.T. BROSNAN, 2013: Influence of phosphorus and nitrogen on annual bluegrass encroachment in a creeping bentgrass putting green. *International Turfgrass Society Research Journal* 12, 649-655.
- SCHILLING, G., 2000: Pflanzenernährung und Düngung. Stuttgart Hohenheim, Deutschland: Ulmer.
- SCHINDLER, D.W., 1971: Carbon, nitrogen, and phosphorus and the eutrophication of freshwater lakes. *Journal of Phycology* 7, 321-329.
- SCHOUMANS, O., 2000: Determination of the degree of phosphate saturation in non-calcareous soils. In: Pierzynski, G.M. (Hrsg.) „Methods of Phosphorus Analysis for Soils, Sediments, Residuals, and Waters“. Manhattan, KS, USA: SERA-IEG 17, 31-34.
- SCHÜLLER, H., 1969: Die CAL-Methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 123, 48-63.
- STEEL, R.G.D., J.H. TORRIE u. D.A. DICKEY 1997: Principles and Procedures of Statistics – A Biometrical Approach. New York, NY, USA: McGraw-Hill.
- SUMNER, M.E. u. W.P. MILLER, 1996: Cation exchange capacity and exchange coefficient.

#### Autoren:

Anne Friederike Borchert und Karin Juul Hesselsoe  
Norwegian Institute of Bioeconomy Research (Nibio Landvik)  
Reddalsveien 215  
NO-4886 Grimstad  
Norway  
anne.borchert@nibio.no  
karin.hesselsoe@nibio.no

Prof. Dr. Hans-Werner Olfs  
Hochschule Osnabrück  
Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur  
Am Krümpel 31  
D-49090 Osnabrück  
Germany  
h-w.olfs@hs-osnabrueck.de

Prof. Dr. Wolfgang Prämaßing  
Hochschule Osnabrück  
Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur  
Am Krümpel 31  
D-49090 Osnabrück  
Germany  
w.praemassing@hs-osnabrueck.de