

# Methodenvergleich zur Bestimmung einer bedarfsgerechten Stickstoffversorgung von Golfgrüns\*

Burren, M., bearbeitet von K.G. Müller-Beck

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden vier unterschiedliche Düngevarianten für Golfgrüns verglichen. Zwei Varianten orientieren sich an neuen Modellrechnungen, wobei der Stickstoffbedarf aufgrund des errechneten Wachstumspotenzials definiert wurde: einmal aufgrund langjähriger Wetterdaten (GP langjährig) und einmal aufgrund aktuell gemessener Wetterdaten (GP aktuell). Zum Vergleich wurden eine weitere Variante nach Einschätzung des aktuellen Nährstoffbedarfs durch den Head-Greenkeeper (Standard) und eine Variante auf Basis von klassischen Ansätzen (Klassisch) gedüngt.

Gedüngt wurden in den Varianten GP langjährig, GP aktuell und Standard mit Flüssigdüngungen in 28, 33 und 31 Gaben und einer N-Menge von 14,6, 17,7 und 16,7 g N/m<sup>2</sup>. Die Variante Klassisch erhielt mit 8 Gaben 25,4 g N/m<sup>2</sup>.

Mit der Versuchsanstellung sollte die geeignete Düngestrategie für die Golfanlage Limpachtal ermittelt werden. Dabei standen die Parameter Grünqualität, Vitalität und Gesundheit der Gräser sowie mögliche Umwelteinwirkungen und Ressourceneinsparung im Fokus der Untersuchungen.

Insgesamt zeigte die Variante „GP aktuell“ die meisten Vorteile im Hinblick auf Bestand, Schnittgutmengen und Spieleigenschaften. Die Variante „Klassisch“ wies die meisten Nachteile auf.

Es hat sich gezeigt, dass unbedingt aktuelle Wetterdaten beim Wachstumsmodell verwendet werden sollten, sodass mit dem ermittelten N-Bedarf des Modells, der Bedarf der Gräser für Golfgrüns weitestgehend abgedeckt werden kann.

## Einleitung

Auf der Golfanlage Limpachtal wird seit einigen Jahren im Sinne einer Qualitätsoptimierung neben mechanischen Maßnahmen auch die Düngung der Grüns kontinuierlich angepasst. Die Stickstoffgaben wurden stetig reduziert und es erfolgte eine komplette Umstellung auf Flüssigdüngung. Ziel ist es, ein den Anforderungen und Bedingungen angepasstes, gut steuerbares Dünge- regime zu entwickeln.

Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass sich durch verminderte Nährstoffeinträge die Erwartungen der Golfer in Bezug auf Spieleigenschaften der Golfgrüns nur teilweise erfüllen ließen. Gleichzeitig verschlechterten sich der Rasenaspekt, die Gesundheit sowie die Regenerationsfähigkeit der Gräser. Der Krankheitsdruck, speziell im Sommer, durch Anthraknose und Dollarspot, hat stark zugenommen.

Im Rahmen der HGK-Facharbeit wurden verschiedene Methoden zur Bemessung der geeigneten Stickstoffdüngung auf Golfgrüns unter besonderer Berücksichtigung von Wachstumspotenzials-Modellen verglichen und die Auswirkungen auf die Qualitätseigenschaften ermittelt.

Bei der Versuchsanstellung sollten Vor- und Nachteile der neuen Methoden zur Stickstoffdüngung im Vergleich zu den klassischen Verfahren dargestellt werden. Aus den getesteten Dünge- strategien sollte möglichst das am besten geeignete Verfahren entwickelt werden, bei dem die spieltechnischen Faktoren für die Grünqualität und die Gräservitalität optimiert und mögliche schädliche Umwelteinwirkungen reduziert werden.

## Aufgaben der Rasendüngung

Die Aufgabe der Düngung ist es, die Gräser mit ausreichend Nährstoffen zu versorgen. Einerseits für das Wachstum, um entstandene Schäden durch Witterung, Nutzung und Krankheit zu regenerieren. Andererseits gleicht die Zufuhr von Nährstoffen die Entzüge aus und erhöht die Belastbarkeit. Düngung beeinflusst ebenfalls die Zusammensetzung der Grasnarbe und kann zu deren Steuerung eingesetzt werden (BEARD, 1998; BELL, 2011; MÜLLER-BECK, 2018). Da in den heutigen sandreichen Aufbauten der Golfgrüns nach FLL-Richtlinie oder USGA-Spezifikation nur wenig bis gar keine Nährstoffe gespeichert werden können, müssen diese in Form von Düngern nachgeliefert werden (MÜLLER-BECK, 2018). Somit kommt der Düngung als Steuerungsinstrument für gesunde Grüns eine wesentliche Aufgabe zu. Sie ist nebst Mähen und Beregnen der dritte wichtige Baustein der Grundpflege (MÜLLER-BECK, 2018).

Biologen und Wissenschaftler haben 17 essenzielle Elemente definiert, die Gräser zum Wachsen benötigen (IFA, 2020). Zu den Nährstoffen gehören die Makronährstoffe, die in größeren Mengen benötigt werden, aber auch eine Reihe von Spurennährstoffen, die wichtige Funktionen im Stoffwechsel erfüllen (MÜLLER-BECK, 2018).

### Klassische Ansätze zur Düngung von Golfgrüns

In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Düngungsempfehlungen für Golfgrüns (siehe Tabelle 1).

Als Basis für diese Empfehlungen dienen meist die Artenzusammensetzung und die Nutzungsintensität. Sie orientieren sich am landwirtschaftlichen

\*) Auszug aus der praxisbezogenen Aufgabe (Hausarbeit) für die Fortbildungsprüfung zum Geprüften Head-Greenkeeper Golfplatzpflege an der DEULA Rheinland, 2021

Quelle	Empfehlung in g N/m <sup>2</sup>	
BEARD, J. (1998)	0,5-1,5	Alle 10-15 Wachstumstage bei <i>Agrostis</i>
BAYRISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (2003)	25-32	Bei <i>Poa annua</i> - und <i>Agrostis</i> -Dominanz
MAY, J.H. et al. (2009)	15-29	Für Golfgrüns
SHADOX, T.W. (2016)	19.5	Für Cool Season Grasses
BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT (2017)	25-35	Bei <i>Poa annua</i> - und <i>Agrostis</i> -Dominanz
Mc CARTY, L.B. (2018)	15-39	
MÜLLER-BECK, K.G. (2018)	20-25	Bei <i>Agrostis</i> -Dominanz

Tab. 1: Übersicht klassischer Düngeempfehlungen im Jahresbedarf für Golfgrüns.

Ansatz. Dieser besagt, dass Gras eine bestimmte Menge an Stickstoff enthält, die dem Bestand durch das Mähen mit dem Schnittgut entzogen wird. Diese muss durch ergänzende Düngung nachgeliefert werden (CARROW et al., 2004).

Die Musterdüngerpläne der Hersteller sind meist so aufgebaut, dass die Ausbringungsmengen von Stickstoff sich neben dem Gesamtentzug an den Jahreszeiten orientieren und das Nährstoffverhältnis der einzelnen Gaben variieren kann. Oft werden gleichzeitig Ausbringungsmengen von spezifischen Nährstoffen zu bestimmten Zeitpunkten erhöht, so zum Beispiel von Kalium, um die Gräser besser vor Hitze-, Kälte- und Belastungsstress zu schützen (MÜLLER-BECK, 2005).

### Neue Ansätze zur Rasendüngung

Innovative Düngestrategien können die Nährstoffeffizienz erhöhen und sind somit für die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit von hoher Bedeutung (THÜNEN, 2020). In den letzten Jahren wurden auch im Rasenbereich neue Methoden zur Bemessung der Düngung erforscht und entwickelt, die im Folgenden vorgestellt werden.

### Precision Fertilisation

Dieser Ansatz wurde vom STERF-Institut in Skandinavien (ERICSSON et al., 2012a; ERICSSON et al., 2012b; ERICSSON et al., 2013; KVALBEIN und AAMLID, 2012) entwickelt. Dem Ansatz der Precision Fertilisation (im Folgenden PF) liegt zu Grunde, dass Stickstoff den wichtigsten Nährstoff darstellt, da er am stärksten das Wachstum steuert. An natürlichen Standorten ist Stickstoff für das Wachstum der Gräser der begrenzende Faktor. Die künstlichen, sandbasierten Bodenaufbauten der Grüns haben wenig Nährstoffspeichervermögen. Deshalb soll sich gemäß

STERF die Düngung der Grüns nach dem aktuellen Nährstoffbedarf der Gräser richten, ohne eventuelle Bodenvorräte zu berücksichtigen. Dies in häufigen, kleinen Gaben in einem ausgeglichenen und gleichbleibenden Nährstoffverhältnis, darunter auch mit sofort verfügbarem Stickstoff. Dabei wird Stickstoff leicht im Minderverhältnis zu den sonstigen Nährstoffen gedüngt, um eine Unterversorgung bei diesen zu vermeiden. Das Nährstoffverhältnis bei der Düngung orientiert sich an den Blattgehalten und beträgt für die Makronährstoffe N 1 : P 0,14 : K 0,65 : Mg 0,06 : S 0,09 : Ca 0,07; auch Spurennährstoffe werden mit einbezogen.

Unter Berücksichtigung der Stickstoffwirkung auf das Wachstum, die Resistenz und die Qualität der Gräser wurde in den Untersuchungen des STERF festgestellt, dass 60 % des Maximalwachstums erforderlich sind, um die besten Effekte zu erzielen (Abbildung 1). Steigt die Stickstoffversorgung auf über 60 % des Bedarfs für maximales Wachstum, kam es zu folgenden Beobachtungen:

- Reduziertes Wurzelwachstum, weil Stickstoff vermehrt in das oberirdische Wachstum (Blätter) geleitet wird.
- Weichere, schlaffere Halme durch erhöhte Stickstoffkonzentration im Blatt.
- Weniger Einlagerung von Kohlenhydraten zur Stärkung der Abwehrkräfte, weil vermehrt für Wachstum benötigt.
- Weniger Ballrolldistanz aufgrund verminderter Oberflächenhärte.

Andererseits reichten aber 60 % Versorgung in der Regel aus, um ein ausreichendes Regenerationswachstum zu gewährleisten.

Gewächshausversuche mit *Poa annua*, *Agrostis stolonifera*, *Agrostis capillaris*, *Agrostis canina* und *Festuca rubra* an der Swedish University of Agricultural Sciences haben gezeigt, dass dieser Wert (60 % der Versorgung für maximales Wachstum) einer Stickstoffkonzentration von 3,1-3,5 % in der Trockensubstanz der Gräser entspricht (ERICSSON et al., 2012a). Precision Fertilisation (PF) hat das Ziel, diese Konzentration in den Gräsern konstant zu halten. Wird diese Anforderung durch gezielte N-Gaben erfüllt, können unerwünschte Fluktuationen im Gräserwachstum und den Spieleigenschaften vermieden werden (ERICSSON et al., 2013).

Die Düngegaben richten sich ausschließlich nach dem Stickstoffbedarf. Dieser wiederum leitet sich aus dem Wachstumspotenzial ab. Wichtige Faktoren dafür sind Licht (Photosynthese) und Temperatur (biochemische Prozesse) (Abbildung 1). Das Wachstumspo-

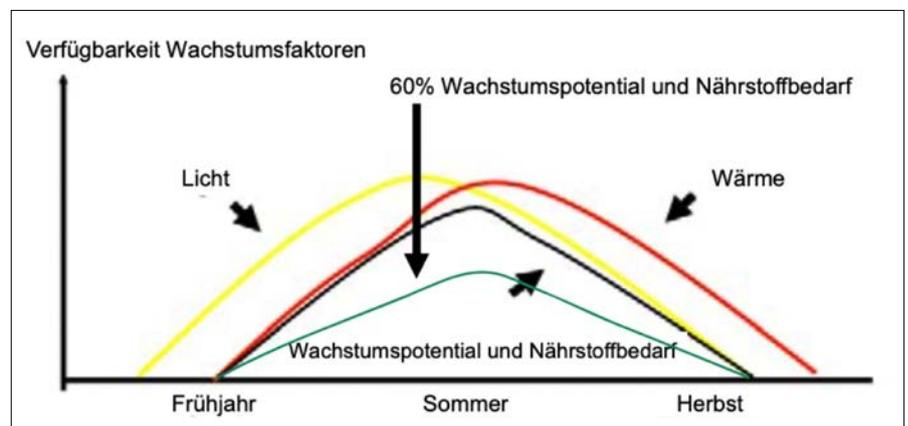


Abb. 1: Schematische Darstellung des Wachstumspotenzials (schwarz 100 %, grün 60 %) in Abhängigkeit der Wachstumsfaktoren Licht (gelb) und Wärme (rot) im Jahresverlauf aufgrund verfügbarer Wachstumsfaktoren (ERICSSON et al., 2013, ergänzt). Die Werte werden bei diesem Ansatz nicht verrechnet und sind deswegen dimensionslos dargestellt.

tenzial wird bei dieser Methode vom Greenkeeper geschätzt.

Auf skandinavische Bedingungen angewandt, bedeutet der Ansatz der PF, dass 60 % Wachstum bei 16 g N/m<sup>2</sup> pro Jahr erreicht würde. Daraus leitet sich bei optimalen Wachstumsbedingungen eine wöchentliche N-Gabe von 0.6-0.7 g N/m<sup>2</sup> ab. Bei weniger günstigen Wachstumsverhältnissen wird entsprechend reduziert. In Situationen, bei denen starkes Regenerationswachstum erforderlich ist (z.B. nach Platzpflegewochen, zu Vegetationsbeginn), kann diese Gabe kurzfristig um bis zu 60 % erhöht werden. Gedüngt wird, solange die Bodentemperatur über 7 °C liegt. Die Bemessung der Düngung erfolgt vor allem aufgrund von Erfahrungen und Einschätzungen des Head-Greenkeepers. Die Empfehlung zur Kontrolle die N-Konzentration im Blatt zu messen, ist weniger praktikabel.

In der Literatur finden sich unterschiedliche Belege, wie sich Stickstoff auf Pilzkrankheiten auswirken kann. Einseitig hohe Stickstoffgaben im Herbst können den Befall von Schneeschimmel begünstigen. Andererseits kann sich ein Mangel an Stickstoff Befalls fördernd auf Dollarspot und Anthraknose auswirken (LATIN, 2011; SMILEY et al., 2007).

### Minimum Level of Sustainable Nutrition (MLSN)

Bei der MLSN-Methode (WOODS, 2012; PACE Turf, 2014; WOODS et al., 2016; MEENTEMEYER et al., 2016; HAINES et al., 2017) geht es um einen neuen Ansatz, die Nährstoffversorgung am Standort zu bewerten, weg von „landwirtschaftlichen“ Optimalbereichen, hin zu Minimalwerten. Der Fokus liegt hier nicht auf dem Stickstoff.

Dazu wurden über 16.000 bereits analysierte Bodenuntersuchungen von Golfplätzen verschiedenster Standorte in den USA und Asien ausgewertet. Lagen die Messwerte der Bodenuntersuchungen mindestens auf dem Niveau der mathematisch bestimmten Minimalwerte, zeigten 90 % der ausgewerteten Proben Grasbestände mit mindestens einer „guten Qualität“. Daraus wurde das Ziel entwickelt, die Resultate der Bodenanalysen konsequent über diesen Minimalwerten zu halten (Abbildung 2).

Nachdem sich die MLSN-Werte (Abbildung 2) auf Ergebnisse nach der Mehlich 3-Methode beziehen, können

	MLSN Soil Guideline
pH	>5.5
Potassium (K ppm)	37
Phosphorus (P ppm)	21
Calcium (Ca ppm)	331
Magnesium (Mg ppm)	47
Sulfur as sulfate (S ppm)	7

Abb. 2: Minimum Level of Sustainable Nutrition, Soil Guidelines (PACE Turf, 2014).

sie nicht auf Bodenuntersuchungen nach deutschen oder schweizerischen Untersuchungsstandards angewendet werden. Für diese Arbeit ist dieser Ansatz insofern von Relevanz, als er später mit dem Growth Potential-Modell ergänzt wurde, um die N-Düngung zu bestimmen.

### Growth Potential (GP)

Beim GP-Ansatz (WOODS, 2012; HAINES und STOWELL, 2017; WOODS, 2016; HARTWIGER, 2019) handelt es sich um die Anwendung eines Wachstumsmodells für Rasengräser auf Basis der Temperatur (GELERTER und STOWELL, 2005) auf die Stickstoffdüngung (Abbildung 3). Dazu werden langjährige Klimadaten von Messstationen verwendet (Temperaturmittelwerte). PACE Turf (2020) stellt dazu online ein Excel-Tool, das Climate Appraisal Form, zur Verfügung, das den MLSN und GP Ansatz kombiniert (<https://www.paceturf.org/index.php/journal/climate>).

### Weiterentwicklung der Modelle

Die Methoden wurden über die letzten Jahre weiterentwickelt. Mit dem Online-Instrument „Weather Tracker“ ([www.turfhacker.com](http://www.turfhacker.com)) von HAINES (2020) können mittels Eingabe von Koordinaten des eigenen Standortes nebst der automatischen Aufzeichnung

der täglichen Temperaturwerte ebenfalls das Growth Potential, die Evapotranspiration und die Dollarspot-Wahrscheinlichkeit errechnet und dargestellt werden, und zwar hier nicht bezogen auf langjährige Mittelwerte, sondern auf das aktuelle Witterungsgeschehen, einschließlich Prognosedaten für acht Tage.

KAUTER (2020) stellte bei der GVD-Jahrestagung 2020 sein weiterentwickeltes Tool vor, bei dem die Daten des „Weather Tracker-Modells“ weiter verfeinert und mit einer Düngungsplanung verknüpft werden.

## Material und Methoden

### Standortbeschreibung

Der Golfplatz Limpachtal (480 m NHN) liegt am Südostfuß des Bucheggbergs, am Rand des Limpachtals, im Schweizer Mittelland. Der ländliche Platz umfasst eine Fläche von 56 ha und liegt je zur Hälfte in den Kantonen Solothurn und Bern. Der gesamte Platz weist einen Lehmboden über einer Schicht aus Juragestein auf.

Das Klima im Schweizer Mittelland liegt im Übergangsbereich vom feuchtmaritimem zum kontinental-gemäßigtem Klima. Die mittlere Jahrestemperatur im flachen Mittelland beträgt etwa 9-10 °C. Mehrheitlich bläst der Wind aus westlicher Richtung (WIKIPEDIA, 2020). Ein typisches Phänomen für das Mittelland ist aber auch die Bise, der kalte, trocknende Wind aus nordöstlicher Richtung, der durch die zwei Gebirgsketten Jura und Voralpen kanalisiert wird (SRF METEO, 2020). Die Sommer werden immer heißer und trockener. Die Anzahl der Hitzetage mit über 30 °C stieg in

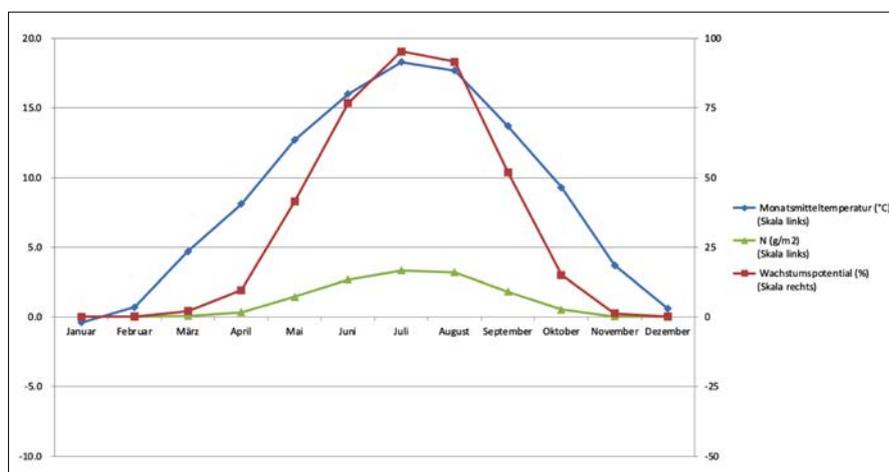


Abb. 3: Monatsmitteltemperatur, Wachstumspotenzial und daraus abgeleiteter N-Bedarf aufgrund langjähriger Klimadaten (1981-2010) der Station Zollikofen (20 km südwestlich vom Golfplatz Limpachtal).

den letzten Jahrzehnten kontinuierlich an und liegt heute bei durchschnittlich 12 pro Jahr. Die Winter sind schneearm (<20 Tage liegende Schneedecke) und es kommt oft zu Nebel- und Hochnebelbildung, die tagelang anhalten kann (WIKIPEDIA, 2020). Frosttage im Mittel land liegen konstant bei ungefähr 80-100 Tagen pro Jahr (VOGELWARTE SEMPACH, 2020).

Auf dem Golfplatz Limpachtal lag nach eigenen Aufzeichnungen in den letzten 10 Jahren die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge bei 825 mm und die durchschnittliche Temperatur bei 9,5 °C. Frosttage wurden über diesen Zeitraum im Schnitt 84 pro Jahr verzeichnet (PUNCTUS, 2020).

### Platzzustand und besondere Herausforderungen

Die Grüns der Golfanlage Limpachtal sind mittel bis stark modelliert und weisen eine Drainschichtbauweise in Anlehnung an FLL-Richtlinie, Konstruktionstyp G3 auf. Es wurde auf einen groben Drainkies (Rundkies, ca. 16/32) eine weitgestufte Rasentragschicht aufgebracht, und zwischen den beiden Schichten ein Porenbruch provoziert (KAUTER, 2017). Der Pflanzenbestand ist ein typischer Mischbestand aus Flechtstraußgras (*Agrostis stolonifera*) und Jähriger Rispe (*Poa annua*). Neun Grüns stammen aus der ersten (1998), neun Grüns aus der zweiten Bauphase (2004, Erweiterung auf 18 Löcher).

In der Rasentragschicht sind durch die Bauweise und die Akkumulation von Organik über längere Zeit oft wasser- gesättigte Verhältnisse anzutreffen, was das Überdauern von Krankheitserregern begünstigt. Speziell zwischen Mai und September ist der Krankheitsdruck mit Dollarspot, Anthraknose oder Mischinfektionen mit *Fusarium* und/oder *Rhizoctonia* latent vorhanden. Zur Vermeidung von Filzbildung und dem Abbau der Organik wird seit gut vier Jahren ein intensives Sanierungsprogramm mit regelmäßigem Topdressen und intensiven Aerifizierarbeiten mit entsprechendem Durchmesser der Werkzeuge gefahren. Ebenfalls ist man mit der Düngung über die letzten Jahre zurückgegangen und ist heute bei den Greens auf einem jährlichen Niveau von ca. 15 g N/m<sup>2</sup>.

### Versuchsfläche und Versuchsdesign

Als Versuchsfläche ist die westliche Hälfte des Putting-Grüns ausgewählt worden. Es liegt direkt vor dem Clubhaus und wurde in der ersten Bauphase erstellt. Die Verhältnisse sind denen auf den Greens dieser Bauphase ver-

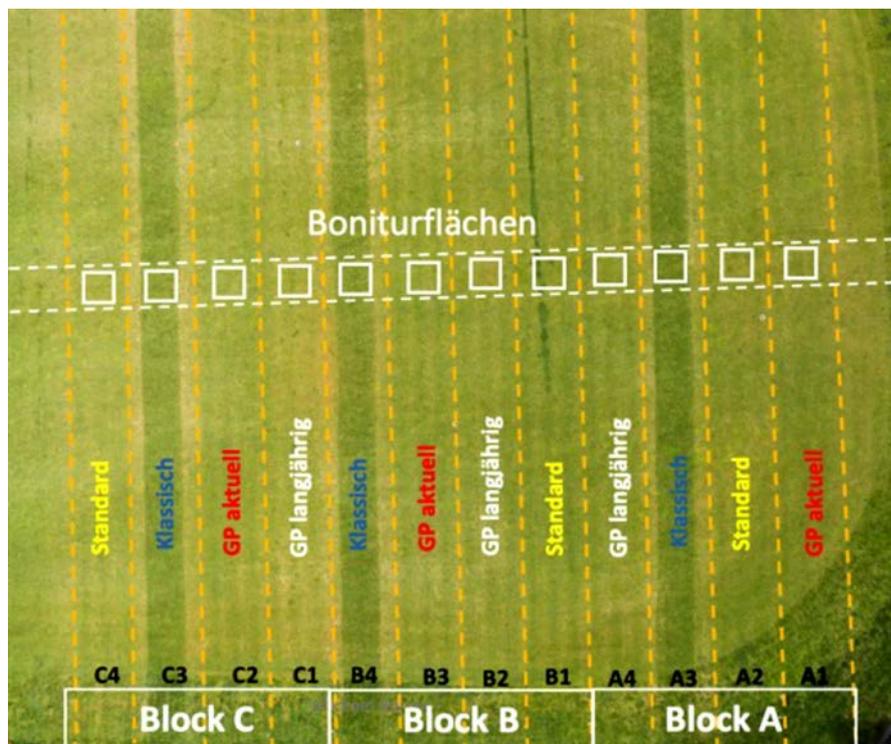


Abb. 4: Voll randomisierte Streifenanlage in 3 Blöcken mit Lage der Boniturflächen und Varianten (Drohnaufnahme v. 11.06.2020 ergänzt).

gleichbar. Auf dieser Fläche wurde der Versuch in Form einer randomisierten Streifenanlage mit 3 Wiederholungen (Block A, B, C), auf 1,5 m breiten und 15 m langen Streifen in Längsrichtung und mit darin zentral gelegenen Boniturflächen von je 1 m<sup>2</sup> angelegt (Abbildung 4).

Zur exakten Ausführung der Düngungsmaßnahmen wurden die Parzellenstreifen jeweils ober- und unterhalb des Putting-Grüns mit Plifix-Markierhilfen gekennzeichnet (Abbildung 5). Zum Wiederauffinden der Boniturflächen wurden quer zu den Versuchsstreifen ebenfalls Plifix in den Boden eingelassen. Diese wurden für die Bonitie-

rungen verbunden (Schnüre mit fixen Lagemarkierungen) und die einzelnen Felder konnten mit den immer gleichen Abständen zu den definierten Referenzpunkten wiedergefunden werden.

Sämtliche Bonituren wurden in 1x1 m großen, örtlich fixen Boniturflächen durchgeführt, die innerhalb der 1,5 m breiten Versuchsstreifen (Abbildungen 5 und 6) definiert wurden.

### Standard-Pflegemaßnahmen

Auf der Versuchsfläche wurden während der gesamten Vegetationsperiode einheitliche Standard-Pflegemaßnahmen durchgeführt wie auf



Abb. 5: Versuchsfläche mit seitlich eingelassenen Plifix-Markierhilfen im Boden (Weitwinkelaufnahme).



Abb. 6: Bonitur des Deckungsgrades mittels Schätzrahmen (1 m<sup>2</sup>).

der gesamten 18-Löcher-Golfanlage. Pflanzenschutzmittel und Wachstumsregulatoren wurden vorbeugend in regelmäßigen Abständen ausgebracht. Zwei größere Aerifizier-Maßnahmen wurden im Rahmen der zwei Platzpfliegewochen (KW 14 und 40) mit Hohlspoons auf einer Tiefe von ca. 15 cm durchgeführt. Dreimal wurde zusätzlich leicht mit Kreuzspoons, ca. 8 cm tief, aerifiziert. Zusätzlich wurden die Grüns im Schnitt zwei- bis dreimal wöchentlich gebügelt, in der Regel direkt nach dem Mähen. Gemäht wurde täglich. Details sind der Originalarbeit zu entnehmen.

## Versuchsaufbau/ Methodisches Vorgehen

Der Versuch lief über eine gesamte Vegetationsperiode und erstreckte sich über 38 Wochen (KW 12 bis KW 50), dabei wurden vier Düngevarianten geprüft (Tabelle 2). Neben der Variante „Klassisch“, die sich an klassischen Düngeempfehlungen orientierte, und der Variante „Standard“, bei der die Parzellen analog zur Grünsdüngung auf

der Anlage gedüngt wurden, wurde das Modell GP in zwei Varianten getestet: einmal in der Variante langjährige Wetterdaten der Wetterstation Zollikofen (GP langjährig) und in einer Variante aktuelle Klimadaten (GP aktuell). Für die beiden GP-Varianten wurde das von KAUTER (2020) weiterentwickelte Verfahren angewandt. Hierzu stand ein Excel-basiertes Tool zur Verfügung. In diesem Modell werden Wachstumspotenzial und N-Bedarf auf Wochenbasis ermittelt, zusätzlich ist ein Prognosemodell für Dollarspot (SMITH et al., 2018) integriert.

Für die Variante **GP langjährig** wurde das Growth Potential-Modell zugrunde gelegt. Zur Errechnung der benötigten Stickstoffmengen wurden die langjährigen Temperatur-Mittelwerte über 30 Jahre der nächstgelegenen Wetterstation Zollikofen als Basis genommen (Meteo Schweiz, Klimanormwerte Bern/Zollikofen, Normperiode 1981-2010). Dabei wurde davon ausgegangen, dass an diesem Standort 3.5 g N/ Monat bei 100 % GP erforderlich sind, um 60 % des Maximalwachstums zu realisieren.

Düngungsvariante		Grundlagen für Düngungsplan
<b>GP langjährig</b>	Flüssig	Wachstumspotenzial aufgrund <b>langjähriger Mittelwerte</b> (Meteo Schweiz), Station Zollikofen
<b>GP aktuell</b>	Flüssig	Wachstumspotenzial aufgrund <b>regional gemessener und prognostizierter, aktueller Klimadaten</b>
<b>Standard</b>	Flüssig	<b>Platzübliche Düngung</b> analog Düngung 18 Löcher-Anlage
<b>Klassisch</b>	Granuliert	<b>Klassische Düngung</b> mit 25 g N/m <sup>2</sup> /Jahr Granuliert, in relativ wenigen Gaben

Tab. 2: Übersicht der geprüften Düngungsvarianten.

Die Variante **GP aktuell** berücksichtigt dagegen als Basis die aktuellen Klimadaten (beobachtete Werte und 3-Tage-Prognose), somit können kurzfristige Änderungen berücksichtigt werden. Zum Abrufen der aktuellen Klimadaten wurde das Online-Tool „Weather Tracker“ von HAINES (2020) verwendet. Für die Berechnung des N-Bedarfs wird mit dem Tool KAUTER dann ein Durchschnittswert der Temperaturen ermittelt, vom aktuellen Datum -3 Tage / +3 Tage. Die Basis-N-Menge wurde wie in der Variante GP langjährig gesetzt.

Die Variante **Standard** wurde analog der 18-Löcher-Anlage gedüngt und basiert auf Erfahrungswerten des Head-Greenkeepers, der zu diesem Zeitpunkt schon einige Zeit mit dem GP gearbeitet hat und dessen Einschätzung entsprechend geprägt ist.

Ursprünglich war geplant, die Düngung nicht über die Klimadaten, sondern über Messwerte der Nitrat-Konzentration im Blatt zu bestimmen. Damit sollte die Angabe von ERICSSON (2013) von anzustrebenden 3,1-3,5 % N-Konzentration in der TS des Schnittguts umgesetzt werden. Dieser Ansatz wurde im Mai verworfen, da die Messwerte mit dem dafür vorgesehenen Nitratmessgerät LAQUAtwin der Firma HORIBA (2015) keine reproduzierbaren Werte zeigten.

Die Lehrbuch-Variante **Klassisch** wurde mit handelsüblichen, granulierten Düngern mit Langzeitstickstoffanteil gedüngt, nach typischer Düngungsempfehlung für Grüns von Herstellern oder Rasenfachleuten. Die Ausbringung erfolgte in acht Gaben, mit einem Zielwert von ca. 25 g N/m<sup>2</sup>/Jahr. Die Startdüngung in KW 12 enthielt 4 g N/m<sup>2</sup> mit erhöhtem Anteil an schnell verfügbarem Stickstoff für eine beschleunigte Startwirkung. Bei vier Gaben wurde 4,5 g N/m<sup>2</sup> gedüngt, mit einem entsprechenden Anteil an Langzeit-Stickstoff. Zwei Düngungen in KW 29 und 45 mit kalibetontem Dünger enthielten jeweils 1,5 g N/m<sup>2</sup>.

## Dünger-Auswahl

In den Varianten 1 bis 3 wurde ausschließlich Flüssigdüngung eingesetzt. Entsprechend werden diese Varianten in der Arbeit gemeinsam als Flüssigdüngervarianten bezeichnet<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>) Bei den Flüssigdüngervarianten 1 bis 3, wurden kurz vor Ausbringung des Düngers noch Biostimulanzien in Form von Trichoderma-Pilzen, Pechnelkenextrakt und Mikroorganismen beige-mischt. Aus Gründen der Arbeitskapazität wurde auf eine Ausbringung der Biostimulanzien bei der granulierten Variante Klassisch verzichtet.

Produkt	Greensgranu Flüssig	Menge	kg bzw.	Nährstoffgabe		(g bzw. ml/m <sup>2</sup> )									
		(g bzw. ml/m <sup>2</sup> )	l total	N	% LZ	P2O5	K2O	MgO	Fe	S	B	Mn	Cu	Zn	Mo
				1.00		0.4	0.9	0.1	0.0	1.0	0.00	0.00	0.0005	0.0011	0.0001
				4.01		1.46	3.50	0.55	0.06	3.91	0.009	0.020	0.0021	0.0045	0.00052
Ammonsulfat 21-0-0		3.6	36.0	0.76						0.86					
Phosphorsäure 85%	x	0.35	3.5			0.36									
Kalinitrat Spritzqualität		1.9	19.0	0.25		0.87									
Epso Combitop		0.06	0.6					0.01		0.00		0.00		0.0006	
Tenso Cocktail		0.01	0.100						0.00		0.00	0.00	0.0005	0.0005	0.0001
Eisensulfat		0.06	0.600						0.01	0.01					
Landor Solubor		0.01	0.100								0.00				
Bittersalz (Magnesiumsulfat)		0.8	8.0					0.13		0.10					

Tab. 3: Nährstoffverhältnis (Zeile 3) und verwendete Produkte der Stammlösung.



Abb. 7: Selbstgebautes Mischsystem für die Herstellung der Nährstofflösung inkl. Vorrichtung zur Befüllung der Spritze.

Das Nährstoffverhältnis der Nährstofflösung wurde über die gesamte Vegetationsperiode beibehalten, es entsprach den Vorgaben von STERF (2012). Die Zusammensetzung zeigt Tabelle 3. Die Nährstofflösung wurde selbst hergestellt unter Verwendung eines selbstgebautes Mischsystems (Abbildung 7).

Für die Variante Klassisch wurden drei handelsübliche, feingranulierte, mineralische Grünsdünger der Produktlinie Sierraform GT von ICL verwendet, mit den jeweiligen an die Jahreszeiten angepassten Nährstoffverhältnissen (Tabelle 4).

Im Rahmen der Platzpflege wurden zusätzlich in den Monaten Mai und November total 0,4 g N/m<sup>2</sup> in Form von Harnstoff zusammen mit Wachstumsregulator auf allen Parzellen ausgebracht.

Produkt	N	Anteil Langzeit-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Sierraform GT Spring Start	16 %	36 %	–	16 %	–
Sierraform GT All Season	18 %	47 %	6 %	18 %	2 %
Sierraform GT K-Step	6 %	88 %	–	27 %	2 %

Tab. 4: Übersicht der verwendeten granulierten Dünger und deren Nährstoffverhältnis in % für die Variante Klassisch.



Abb. 8: Fox Sprayer für Flüssigdünger-variante

Zur Applikation der Flüssigdünger-varianten wurde eine „Fox Sprayer“-Handspritze der Firma Fox Motori mit einer Spritzbreite von 1,5 m mit drei Düsen (Flüssigdüngerdüsen der Firma Agrotop) verwendet (Abbildung 8). Es wurde immer mit einer Aufwandmenge von 500 l/ha gespritzt und anschließend vier Minuten eingewässert, da die Nährstoffe über die Wurzeln und nicht über das Blatt aufgenommen werden sollten.

Für die granulierten Variante wurde ein Kastenstreuer der Firma Scotts (Abbildung 9) mit einer Ausbringbreite von 90 cm verwendet.

#### Untersuchungsparameter

Zur Auswertung der Versuchsfragestellung wurden folgende Parameter erfasst bzw. Bonituren durchgeführt:

- Bodenanalysen zur Bestimmung der Nährstoffgehalte vor und nach Abschluss der Düngungsversuche.
- Projektive Deckungsgradschätzung in Anlehnung an die Methode nach



Abb. 9: Kastenstreuer für die Variante Klassisch

BRAUN-BLANQUET (VOIGTLÄNDER und VOSS, 1979).

- Pflanzenbestandsentwicklung während der Vegetationsperiode viermal mittels Schätzrahmen.
- Ermittlung des Wurzelwachstums mittels Profilausstich an vier Terminen. Erfassung des Hauptwurzelhorizontes und der maximalen Wurzellänge.
- Erfassung der Schnittgutmenge zur Erfassung der Vitalität und Regenerationskraft der Gräser.
- Krankheiten wurden bei Auftreten in den Boniturf lächen bonitiert.
- Zur Auswertung der Spieleigenschaften wurde zwischen Mai und Oktober acht Mal die Grüns geschwindigkeit und sechs Mal die Ballauftreue pro Versuchsstreifen ermittelt.



Abb. 10: Verwendeter Jacobsen Handmäher.



Abb. 11: Versuchsstreifen der einzelnen Varianten.

## Ergebnisse

### Düngungshöhe und Terminierung

Aufgrund des Witterungsverlaufs fand die erste Düngung in allen Varianten Mitte März (KW 12) statt, die letzte Anfang November (KW 45). In den Flüssigdüngervarianten wurde zwischen

14,6 und 17,7 g N/m<sup>2</sup> in 28 bis 33 Gaben gedüngt. In der Variante Klassisch wurde 25,4 g N/m<sup>2</sup> in 8 Gaben ausgebracht (Abbildung 12).

Bei der ersten Düngung (KW 12) wurde bei allen Flüssigdüngervarianten 0,5 g N/m<sup>2</sup> als Startgabe ausgebracht. In den Wochen 19 und 20 (Anfang Mai) wur-

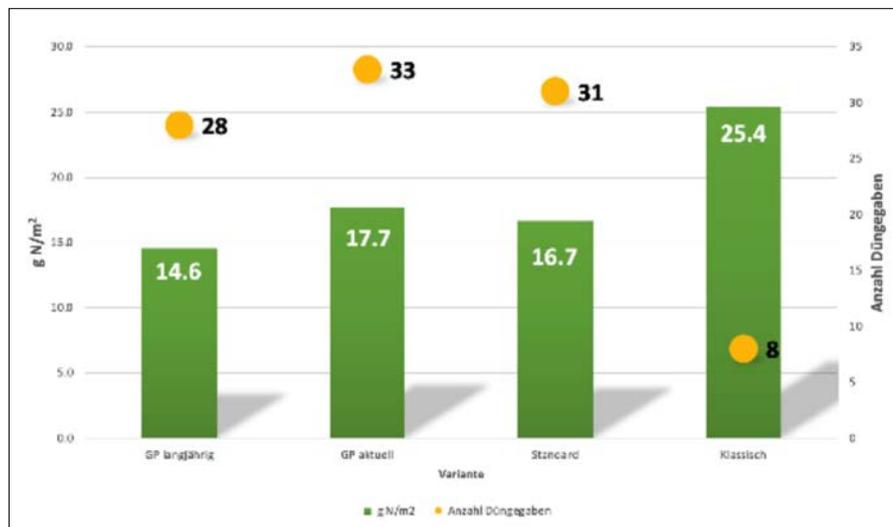


Abb. 12: Jahresmengen N in g/m<sup>2</sup> (Säulen) und Anzahl Düngegaben nach Variante (Punkte).

Prüfparameter	Einheit	Probenahmen:					Optimalbereich	
		21.02.20	30.11.20	30.11.20	30.11.20	30.11.20		
pH-Wert	in CaCl <sub>2</sub>	5.9	6.5	6.7	6.6	6.6	5.5 - 7.5	
Phosphor	in CAL	mg/100g	7	9	7	6	7	7.0 - 15
Kalium	in CAL	mg/100g	4	6	5	5	8	10 - 15
Magnesium	in CaCl <sub>2</sub>	mg/100g	3	3	3	3	4	4 - 8
Eisen	in EDTA	mg/kg	190	170	180	170	150	
Kupfer	in CAT	mg/kg	0.8	1.2	0.8	1.0	1.1	
Mangan	in CAT	mg/kg	16	21	17	20	22	
Zink	in CAT	mg/kg	2	2.6	1.9	2.2	2.3	
Bor	in CAT	mg/kg	0.18	0.11	<0.1	<0.1	<0.1	

Tab. 5: Ergebnisse der Bodenanalysen des Putting Grüns, LUFA NRW (28.02.20 und 16.12.20).

den aufgrund starker Wachstumsphasen und erhöhtem Bedarf an Regenerationskraft der Gräser die Zielmengen (g N/m<sup>2</sup>) der Flüssigdüngervarianten jeweils um 1/3 erhöht. Die wöchentlichen Stickstoffmengen der einzelnen Flüssigdüngervarianten lagen im April und im Oktober durchschnittlich zwischen 0,1 und 0,5 g N/m<sup>2</sup>. Von Mai bis September wurde dort wöchentlich im Durchschnitt 0,5-1,0 g N/m<sup>2</sup> gedüngt. Bei der granulierten Variante Klassisch wurde bei der Erstdüngung am 20. März 4 g N/m<sup>2</sup> ausgebracht. Anschließend wurde vier Mal mit 4,5 g N/m<sup>2</sup> und zwei Mal mit 1,5 g N/m<sup>2</sup> gedüngt.

Die Ergebnisse der Bodenanalysen zum Ende des Versuchszeitraums (Probenahme 30.11.20) zeigten keine großen Veränderungen gegenüber den Untersuchungen vor Versuchsbeginn (Probenahme 21.02.20) (Tabelle 5).

### N-Mengen im Vergleich der Varianten

Als Basis wurde das aktuelle Wachstumspotenzial (Variante GP aktuell) täglich mit aktuellen Wetterdaten errechnet (Zielwert). Daraus wurde der Stickstoffbedarf für das Jahr 2020 berechnet. Dieser Wert wird als Zielwert 2020 bezeichnet und liegt Ende des Jahres kumuliert bei 16,9 g N/m<sup>2</sup>. In Tabelle 6 sind die Werte der einzelnen Varianten im Vergleich zum Zielwert aufgeführt.

Die Abweichungen der N-Mengen der jeweiligen Varianten zum errechneten N-Bedarf lassen sich folgendermaßen erklären:

- Im Rahmen der üblichen Platzpflege wurden im Mai und November zusätzlich 0,4 g N/m<sup>2</sup> in Form von Harnstoff ausgebracht. Das wurde nachträglich in der Düngplanung berücksichtigt.
- Bei den Modellen „GP langjährig“ und „GP aktuell“ wurden zwei Düngegaben im Mai um 1/3 wegen eines

Variante	Errechneter kumulierter Jahres-N-Bedarf bzw. Zielwerte in g/m <sup>2</sup>	Ausgebrachte, kumulierte N-Menge in g/m <sup>2</sup>	Abweichung vom Zielwert GP aktuell in g/m <sup>2</sup>	Abweichung vom Zielwert GP aktuell in g/m <sup>2</sup>
GP langjährig	13,9	14,6	-2,3	-13,6%
GP aktuell	<b>16,9</b>	17,7	+0,8	+4,7%
Standard	15-16	16,7	-0,2	-1,2%
Klassisch	25	25,4	+8,5	+50,3%

Tab. 6: Abweichungen ausgebrachte Jahres Stickstoffmenge zum errechneten Stickstoffbedarf (Zielwert 2020) nach Variante.

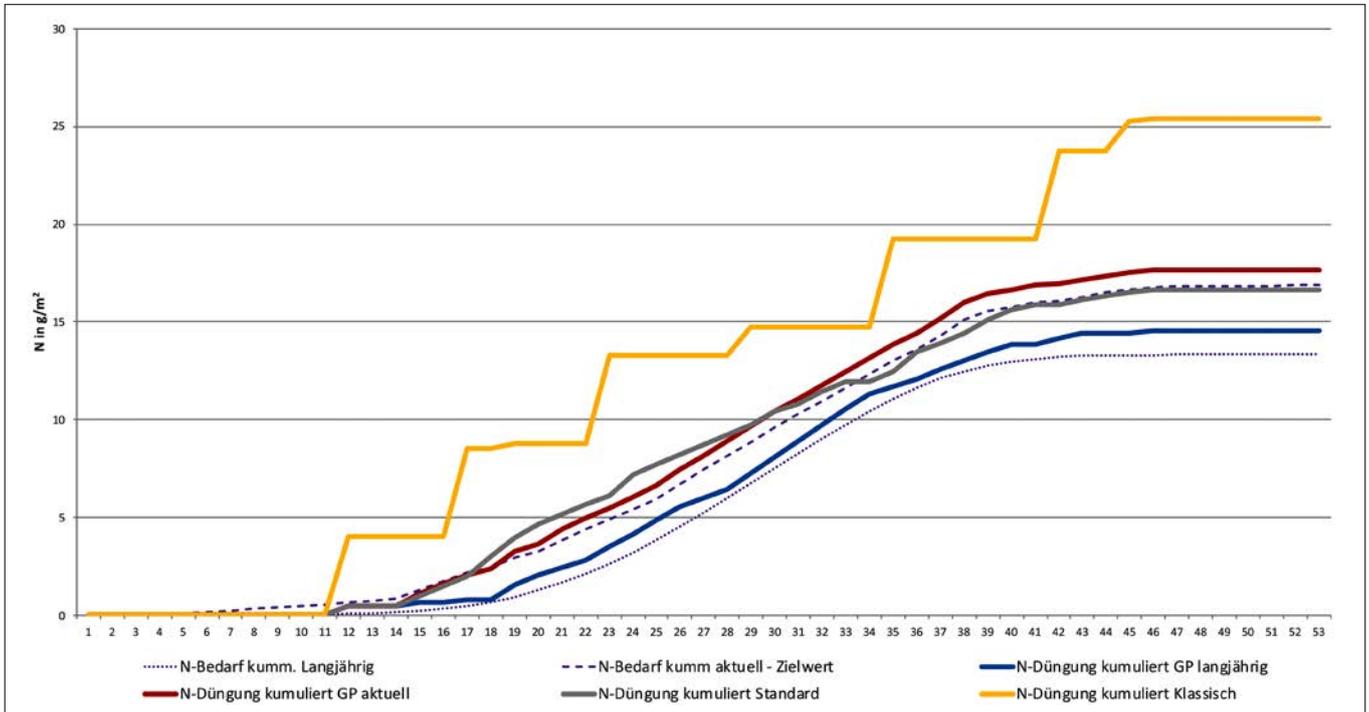


Abb. 13: Kumulierte N-Düngung der vier Varianten und des N-Bedarfs aktuell und langjährig in g/m<sup>2</sup> (Modell KAUTER, 2020).

erhöhten Regenerationsbedarfs nach der Pflegeweche erhöht.

- Bei der Variante „GP langjährig“ lag die kumulierte Düngermenge mit 14,6 g/m<sup>2</sup> um 2,3 g/m<sup>2</sup> (-13,6 %) unter dem Zielwert 2020 von 16,9 g N/m<sup>2</sup>.
- Bei der Variante „GP aktuell“ war zu erwarten, dass die kumulierte Düngermenge praktisch identisch zum Zielwert 2020 ist. Mit 17,7 g N/m<sup>2</sup> liegt die Variante jedoch Ende des Jahres um 0,8 g/m<sup>2</sup> (+4,7 %) über dem Zielwert von 16,9 g/m<sup>2</sup>.
- Bei der Variante „Standard“ wurde aufgrund von Erfahrungswerten der letzten Jahre im Schnitt einmal wöchentlich mit 0,5 g N/m<sup>2</sup> gedüngt. Die Grüns wurden durch den Head-Greenkeeper laufend visuell beurteilt. Bei erhöhtem Bedarf an Regenerationskraft oder während starken Wachstumsphasen wurden die Mengen kurzfristig bis auf 1 g N/m<sup>2</sup> pro Woche erhöht, bei optisch gesunden Grüns auch mal leicht reduziert. Mit einer kumulierten Jahres-N-Menge

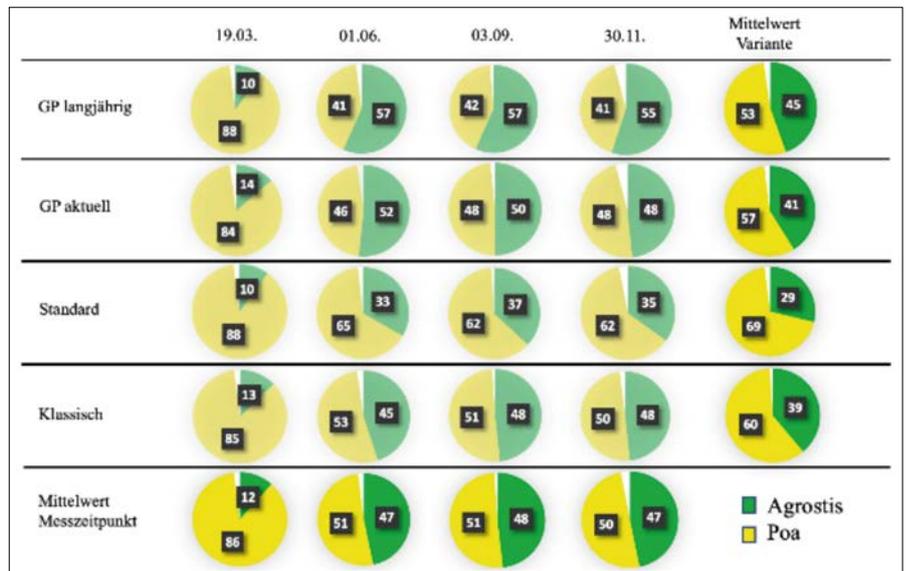


Abb. 14: Deckungsgradanteile nach Varianten und Boniturterminen.

von 16,7 g/m<sup>2</sup> liegt diese Variante nur 0,2 g/m<sup>2</sup> (-1,2 %) tiefer als der errechnete Zielwert von 16,9 g/m<sup>2</sup>.

- Die Variante „Klassisch“ wurde nur alle 5 bis 6 Wochen gedüngt, jedoch mit höheren N-Gaben. Die kumulierte

Jahres-N-Menge liegt bei 25,4 g N/m<sup>2</sup>. Also mit +8,5 g/m<sup>2</sup> (+50,3 %) deutlich über dem Zielwert von 16,9 g/m<sup>2</sup>.

**Pflanzenbestand und Deckungsgrad**  
Der Deckungsgrad lag bei allen Varianten während der ganzen Versuchsperi-

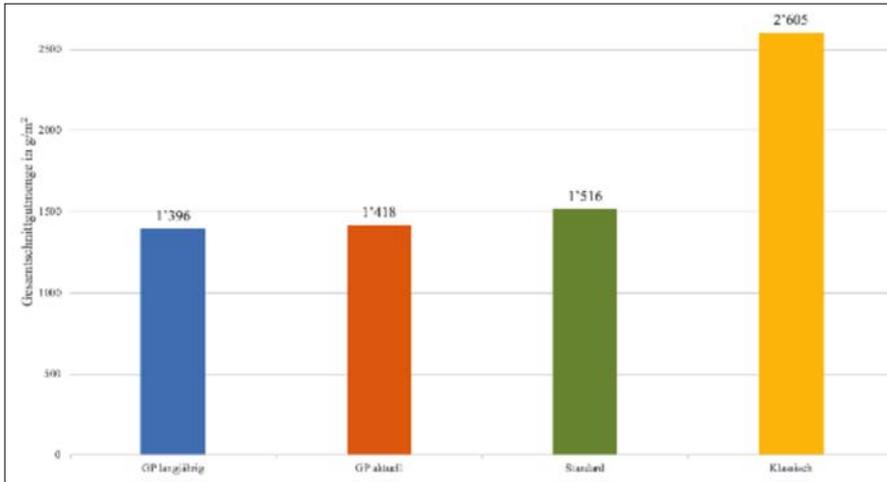


Abb. 15: Gesamtschnittgutmengen (Summe aus allen Terminen) in g/m<sup>2</sup> nach Varianten.

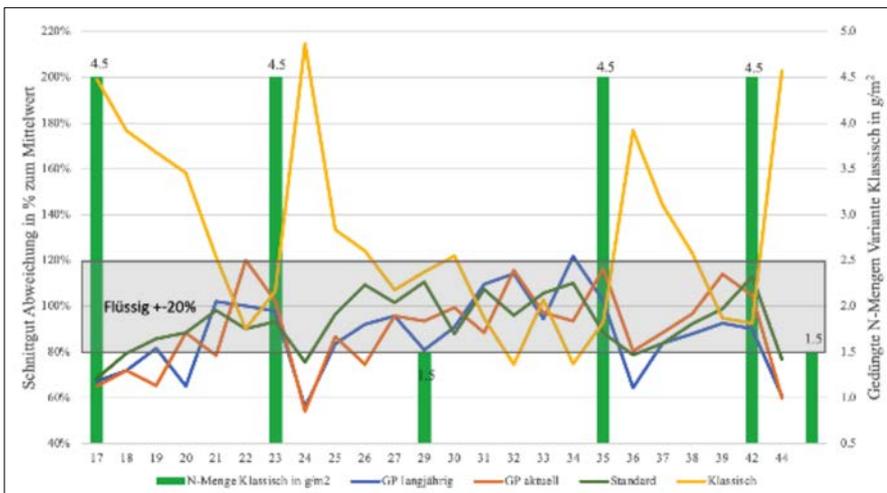


Abb. 16: Abweichungen Schnittgutmengen in % zum Mittelwert aller Varianten (linke Achse) und gedüngte N-Mengen der Variante Klassisch in g/m<sup>2</sup> (grüne Balken, rechte Achse).

de bei 98-99 % und hat sich durch die verschiedenen Düngemethoden nicht verändert. Die Artenanteile wurden viermal bonitiert und sind in Abbildung 14 zusammengestellt.

### Schnittgutunfall

Die Schnittgutmengen (Summe aus allen Terminen) bewegen sich bei den Flüssigdüngervarianten zwischen 1,4

und 1,5 kg auf vergleichbarem Niveau. Bei der Variante „Klassisch“ wurden dagegen 2,6 kg ermittelt, das entspricht einer Steigerung von ca. 80 % (Abbildung 15).

Die Schwankungsbreiten der Schnittgutmengen in % zum Mittelwert (100 %), bewegen sich bei den Flüssigdüngervarianten in einer Bandbreite von

±20 %. Bei der Variante „Klassisch“ wird deutlich, dass jeweils eine Woche nach der Düngung die Schnittgutmengen massiv (>100 %) nach oben springen und erst nach ca. vier Wochen wieder auf das Niveau der Vergleichs-Varianten einstellen (Abbildung 16).

### Spieleigenschaften

Bezüglich der Spieleigenschaften sind in Tabelle 7 die Grünsgeschwindigkeiten zusammengestellt. Die Streuung aufgrund der Termine ist größer als zwischen den Düngervarianten.

### Diskussion und Fazit

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Nutzung langjähriger Wetterdaten weniger geeignet erscheint, um den N-Bedarf der Gräser abzubilden („GP langjährig“). Die Variante „GP aktuell“ nutzt die aktuellen Wetterdaten und kommt somit zu einem tatsächlichen Temperaturverlauf, mit dem das Growth Potential (GP) bestimmt wird. Mit dem Modell „GP aktuell“ wird die Düngung besser angepasst, sodass einzelne Spitzen zeitnah abgedeckt werden. Das Modell verhindert auch eine zu spät einsetzende Düngung.

Mit den neuen Ansätzen ist es möglich, die N-Düngung deutlich zu reduzieren, ohne negative Auswirkungen auf Vitalität und Spieleigenschaften zu erzeugen.

Die Variante Standard lieferte in Bezug auf die ausgebrachte N-Menge ähnliche Werte wie die Modelle „GP langjährig“ und „GP aktuell“. Daraus lässt sich ableiten, dass man bei der Berücksichtigung des Wachstumsmodells relativ nahe an eine ideale Düngung herankommt, die dem Düngeregime eines erfahrenen Head-Greenkeepers durchaus entspricht.

KW	Datum	GP langjährig	GP aktuell	Standard	Klassisch	
		Stimp in cm	Stimp in cm	Stimp in cm	Stimp in cm	Zeitabstände zu letzter Düngung
20	10.05.20	208	218	203	203	3 Wochen
23	01.06.20	272	268	273	270	gleiche Woche gedüngt
27	02.07.20	278	280	273	262	4 Wochen
29	18.07.20	268	273	272	272	gleiche Woche gedüngt
32	03.08.20	233	237	238	237	3 Wochen
34	22.08.20	278	283	285	283	5 Wochen
37	12.09.20	277	272	277	270	2 Wochen
44	30.10.20	225	225	223	202	2 Wochen

Tab. 7: Gemessene Grünsgeschwindigkeiten (Durchschnitt aus der Summe der 3 Wiederholungen) in cm nach Variante und Zeitabständen zur letzten Düngung der Variante Klassisch.

Bei den Flüssigdüngervarianten, bei denen zwischen 14,6 und 17,7 g N/m<sup>2</sup> gedüngt wurden, kann die Aussage von ERICSSON et al. (2013) nicht voll bestätigt werden, dass 60 % des Maximalwachstums ausreichen, um gesunde Gräser zu entwickeln. Die Versuche haben gezeigt, dass die Flüssigdüngervarianten bei Bestand, Spielqualität, Schnittgutreduktion und Durchwurzelungstiefe eher positiv bewertet wurden. Dagegen waren die Ergebnisse beim Krankheitsbefall, speziell bei Anthraknose, eher schlechter als bei der Variante „Klassisch“. Hier stellt sich die Frage, ob die festgelegte Stickstoffmenge bei den Flüssigdüngervarianten in diesem Fall zu niedrig war.

Unter Berücksichtigung von Ressourcenschonung und Umwelteinwirkungen sind die Flüssigdüngervarianten mit den niedrigeren Gesamt-N-Mengen positiv zu bewerten.

Allerdings ist es nicht gelungen, mit weniger Düngung den Krankheitsdruck zurückzunehmen. Auch die Spielqualität und die absolute Wurzeltiefe waren nicht auffallend höher.

Bei der Betrachtung der Applikationshäufigkeit ist zu bemerken, dass für die Flüssigdüngervarianten ein erheblicher Mehraufwand mit 28 bis 33 Düngungsgängen im Vergleich zu acht Applikationen bei der Variante „Klassisch“ entsteht.

Um Veränderungen im Gesamtdeckungsgrad feststellen zu können, war der Beobachtungszeitraum von einem Jahr zu kurz. Der Gesamtdeckungsgrad aller Varianten blieb unverändert.

Bei den angefallenen Schnittgutmengen gab es zwischen den Flüssigdün-

gervarianten während der Vegetationsperiode keine merklichen Unterschiede.

Bei der Variante „Klassisch“ mit höheren Einzelstickstoffgaben kam es zu starken Schwankungen. Jeweils eine Woche nach der granulierten Düngergabe stieg die Schnittgutmenge um über 100 %, die erst nach vier bis fünf Wochen wieder auf das Niveau der Flüssigdüngervarianten abfiel. Die höheren N-Mengen führten zu ungleichmäßigen, sprunghaften und insgesamt höheren Schnittgutmengen, was sich in inkonstanten Spieleigenschaften zeigen kann, wenn nicht mit anderen Maßnahmen wie Walzen oder Topdressen gegengesteuert wird.

Bei der Betrachtung der Grünschwindigkeit stellt sich die Frage, ob die ermittelten, geringen Unterschiede für die Spieler überhaupt wahrnehmbar sind. Nach KARCHER et al. (2001) empfindet ein Durchschnittsgolfer erst ab 15 cm zusätzlicher Ballrollstrecke einen Unterschied. Berücksichtigt man diese Erkenntnis in Bezug auf die gemessenen absoluten Werte während des Versuchszeitraums, so ergeben sich lediglich vier Messungen, die im Bereich der Wahrnehmungsgrenze liegen.

Eine zusammenfassende Bewertung der betrachteten Parameter wird für die vier untersuchten Düngungsvarianten in Tabelle 8 vorgenommen.

Aufgrund Punkteverteilung ergibt sich eine Vorrangstellung für die Variante „GP aktuell“. Bei den Krankheiten ist aber Vorsicht geboten, da die reduzierten N-Mengen der Flüssigdüngervarianten das Auftreten von Anthraknose verstärken können.

	GP langjährig	GP aktuell	Standard	Klassisch
Wachstumsverlauf/ Terminierung	🟡	🟢	🟡	🔴
Bestand/Deckungsgrad	🟢	🟢	🟡	🟡
Wurzelwachstum	🟡	🟡	🟡	🟡
Schnittgutmenge	🟢	🟢	🟢	🔴
Krankheiten	🟡	🟡	🟡	🟢
Spieleigenschaften	🟡	🟢	🟢	🔴
Anzahl Düngegaben	🔴	🔴	🔴	🟢

Tab. 8: Vergleichstabelle der einzelnen Varianten anhand der untersuchten Parameter.

## Literatur

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN, 2003: Rasensport- und Golfplätze umweltgerecht düngen, München.

BEARD, J. B., 1998: Turf Management for Golf Courses, 2nd Edition, Wiley&Sons, Hoboken, NJ, USA.

BELL, G.E., 2011: Turfgrass Physiology and Ecology, CABI, Wallingford, UK; Cambridge, MA, USA.

BUNDESINSTITUT FÜR SPORTWISSENSCHAFT, 1993: Grundsätze zur funktions- und umweltgerechten Pflege von Rasensportflächen. Teil 1: Nährstoffversorgung durch Düngung.

CARROW, R.N., L. STOWELL, W. GELERNTER, S. DAVIS, R.R. DUNCAN and J. SKORULSKI, 2004: Clarifying soil testing: III. SLAN sufficiency ranges and recommendations. GCM., 72(1), 194-198.

ERICSSON, T., K. BLOMBÄCK and A. NEUMANN, 2012a: Demand-driven fertilization. Part I: Nitrogen productivity in four high-maintenance turf grass species. – Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science 62, Supplement 1, 113-121.

ERICSSON, T., K. BLOMBÄCK, A. KVALBEIN and A. NEUMANN, 2012b: Demand-driven fertilization. Part II: Influence of demand-driven fertilization on shoot nitrogen concentration, growth rate, fructan storage and playing quality of golf turf. – Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science 62, Supplement 1, 139-149.

ERICSSON, T., K. BLOMBÄCK, A. KVALBEIN, 2013: Precision Fertilization – From Theory to Practice. STERF.

FLL, 2008: Richtlinien für den Bau von Golfplätzen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.

GELERNTER, W. and L. STOWELL, 2005: Improved overseeding programs. 1. The role of weather. GCM 73 (3), 108-113.

HAINES, J. and L. STOWELL, 2017: MLSN Guidelines and Growth Potential (Präsentation). [https://www.paceturf.org/PTRI/Documents/Haines\\_Stowell\\_MLSN\\_GP.pdf](https://www.paceturf.org/PTRI/Documents/Haines_Stowell_MLSN_GP.pdf) (aufgerufen am 30.11.2020).

HARTWIGER, C., 2019: Unlock the Value of Growth Potential Graphs April 4, USGA.

HAINES, J., 2020: Weather Tracker. <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1uIW87FI5mCsBjAFVj-6wNosNHATwNceCIW-wxc0tU8ps/edit#gid=1762072017> (aufgerufen am 22.12.2020).

HORIBA INSTRUMENTS, 2015: Nitrate Measurement in Turf Grass (Firmenbroschüre). <http://www.horiba-laqua.com> (aufgerufen 10.02.2021).

KARCHER, D., T. NIKOLAI and R. CALHOUN, 2001: Golfers perceptions of greens speeds vary, Golf Course Management March 2001. <http://puttingzone.com/Info/Bag/2.%20Golfers%27%20perceptions%20of%20green%20speed%20vary.pdf> (aufgerufen am 15.11.2020).

KAUTER, D., 2017: Platzaufnahme Greens Golf Limpachtal (Bericht).

KAUTER, D., 2020: Ansätze und Erfahrungen zu nachhaltiger Düngung. Handout GVD-Jahrestagung.

- KVALBEIN, A. and T.S. AAMLID, 2012: Green fertilization the scandinavian way. <http://www.sterf.org/Media/Get/1815/green-fertilisation-the-scandinavian-way>.
- LATIN, R., 2011: A Practical Guide to Turfgrass Fungicides, APS Press, Minnesota, USA.
- LUFA NRW, 2020: Prüfberichte Golf Limpachtal, 2020.
- MAY, J.H., 2009: Nutrient Management for Golf Courses, Virginia Cooperative Extension, Virginia State University, Publication 430-399, 2. [https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs\\_ext\\_vt\\_edu/430/430-399/430-399\\_pdf.pdf](https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/430/430-399/430-399_pdf.pdf) (aufgerufen am 29.01.2021).
- McCARTY, L.B., 2018: Golf Turf Management. Taylor&Francis, Boca Raton.
- MEENTEMEYER, B. and B. WHITLARK, 2016: Turfgrass Fertilization – Supplement only when needed to provide better turf and playability, USGA, Green Section Record Vol. 54.
- METEO SCHWEIZ, 2018: Klimanormwerte Bern/Zollikofen, Normperiode 1981-2010, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie Meteo Schweiz. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klimanormwerte/klimadiagramme-und-normwerte-pro-station.html> (aufgerufen am 03.02.2020).
- MÜLLER-BECK, K.G., 2005: Kalidüngung verbessert Winterhärte der Rasengräser. <https://www.rasengesellschaft.de/rasenthema-detailansicht/rasenthema-oktober-2005.html> (aufgerufen am 28.12.2020).
- MÜLLER-BECK, K.G., 2018: Rasenmanagement – Grundpflege. In Thieme-Hack et al., Handbuch Rasen, Eugen Ulmer AG, Osnabrück, 171-210.
- PACE Turf, 2014: Minimum Level for Sustainable Nutrition Soil Guidelines. [https://www.paceturf.org/journal/minimum\\_level\\_for\\_sustainable\\_nutrition](https://www.paceturf.org/journal/minimum_level_for_sustainable_nutrition) (aufgerufen am 21.12.2020).
- PACE Turf, 2020: Climate Appraisal Form. <https://www.paceturf.org/index.php/journal/climate> (aufgerufen am 30.12.2020).
- PUNCTUS, 2020: Greenkeepersoftware, Wetterdaten (eigene Aufzeichnungen).
- SHADDOX, T.W., 2016: Recommendations for N, P, K and Mg for Golf Course and Athletic Field Fertilization Based on Mehlich III Extractant. <https://edis.ifas.ufl.edu/ss404> (aufgerufen am 29.01.2021).
- SMILEY, R.W., P.H. DERNOEDEN and B.B. CLARKE, 2007: Compendium of Turfgrass Diseases, third edition, APS Press, Minnesota, USA.
- SMITH, D.L., J.P. KERNS, N.R. WALKER, A.F. PAYNE, B. HORVATH, J. INGUAGIATO, E. KAMINSKI, M. TOMASO-PETERSON and P.L. KOCH, 2018: Development and validation of a weather-based warning system to advise fungicide applications to control dollar spot on turfgrass, PLOS ONE. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194216> (aufgerufen am 29.01.2021).
- STERF, 2012: Precision Fertilization – From theory to Practice. <http://www.sterf.org/Media/Get/3822/precision-fertilisation-handbook-2021-final>
- SRF METEO, 2020: Die fiese Bise. <https://www.srf.ch/meteo/meteo-stories/wind-im-mittelland-die-fiese-bise> (aufgerufen am 25.01.2020).
- THÜNEN, J., 2020: Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüseanbau. <https://www.thuenen.de/de/bw/projekte/optimierung-der-stickstoffduengung-im-freilandgemuese-anbau/> (aufgerufen am 28.12.2020).
- VOGELWARTE SEMPACH, 2020: Klima. <https://www.vogelwarte.ch/de/atlas/entwicklung/klima> (aufgerufen am 21.12.2020).
- VOIGTLÄNDER, G. und N. VOSS, 1979: Methoden der Grünlanduntersuchung- und Bewertung: Grünland, Feldfutter, Rasen, Ulmer, Stuttgart.
- WIKIPEDIA, 2020: Mittelland Schweiz. [https://de.wikipedia.org/wiki/Mittelland\\_\(Schweiz\)#Klima](https://de.wikipedia.org/wiki/Mittelland_(Schweiz)#Klima) (aufgerufen am 30.11.2020).
- WOODS, M., 2012: Understanding Turfgrass Nutrient Requirements. [http://calendar.asianturfgrass.com/understanding\\_turfgrass\\_nutrient\\_requirements\\_5june2012.pdf](http://calendar.asianturfgrass.com/understanding_turfgrass_nutrient_requirements_5june2012.pdf) (aufgerufen am 27.01.2021).
- WOODS, M., 2016: A Short Grammar of Greenkeeping. Veröffentlicht bei [www.leanpub.com](http://www.leanpub.com).
- WOODS, M., L. STOWELL and W. GELERTER, 2016: Minimum Soil Nutrient Guidelines for turfgrass developed from Mehlich 3 soil test results. PeerJ Preprints. <https://peerj.com/preprints/2144v1/> (aufgerufen am 01.12.2020).

#### **Autor:**

Michael Burren  
Geprüf. Head-Greenkeeper  
Wyllhof Golf AG/Golfclub Wyllhof  
CH 4542 Luterbach  
[burren@golfclub.ch](mailto:burren@golfclub.ch)

#### **Bearbeitet von:**

Dr. Klaus G. Müller-Beck,  
Ehrenmitglied Greenkeeper Verband  
Deutschland e.V.  
48291 Telgte  
[klaus.mueller-beck@t-online.de](mailto:klaus.mueller-beck@t-online.de)