

Qualitätsoptimierung von Sportrasen durch LED-Lichttechnik *

Steger, S., F. Steinbacher, H. Bethge und C. Dreier

Zusammenfassung

Die baulichen Gegebenheiten moderner Fußballstadien lassen oft zu wenig Licht auf den Stadionrasen. Um die hohe Qualität des Sportrasens in den Stadien der Bundesliga ganzjährig zu erhalten, ist neben aufwändigen Pflegemaßnahmen eine zusätzliche Belichtung mit Kunstlichtquellen erforderlich. Die zusätzliche Belichtung mit Kunstlicht erfolgt bisher über Natriumhochdrucklampen. Am Gewächshauslaborzentrum am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München werden seit 2013 Untersuchungen zu den Wechselwirkungen von verschiedenen Lichtquellen auf Rasen durchgeführt. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass moderne LED-Technologie geeignet ist, die etablierten Belichtungssysteme nicht nur zu ersetzen, sondern die Qualität der Beleuchtung deutlich zu verbessern und das bei deutlich reduziertem Energieeinsatz. Denn die LED-Technik ermöglicht individuelle Kompositionen verschiedener Lichtspektren, so dass sich diese nicht nur an die verschiedenen physiologischen Phasen des Rasenwachstums, sondern auch an die individuellen klimatischen Bedingungen in den jeweiligen Stadien anpassen lassen.

Summary

Because of their construction modern soccer fields let very often only a limited amount of natural light on their lawns. However, in order to maintain the high quality of the lawns of the German Bundesliga playgrounds, it is not enough to take measures for some extensive and costly maintenance of the lawns, it is also necessary to install additional sources of artificial light. For the additional sources of artificial light halogen lamps were used till now. Since 2013 tests are made in the green-house laboratory of the Institute of Sciences at the University of Munich in order to analyse the interdependencies between the different light sources and the different grass varieties. It was so possible to demonstrate that the modern LED technology is not only able to supplant the different existing lights yet, it can also ameliorate the light quality and is energy-saving. The LED technology allows an individual choice among different light sources which can be adapted to the different phases of grass growth as well as to the climatic environmental requirements of each football playground.

Résumé

Les aménagements des terrains de football modernes sont parfois tels que trop souvent ils laissent passer une lumière insuffisante pour assurer une pousse normale de leur gazon. Afin de maintenir la bonne qualité des gazons sur les terrains de football de la Bundesliga il est non seulement nécessaire de prendre des mesures d'entretien sophistiqués; il faut également assurer un éclairage avec une lumière artificielle. Pour cet éclairage il est possible d'utiliser des lampes à vapeur de sodium sous haute pression. C'est pourquoi on fait depuis 2013 déjà des tests dans les serres de l'Institut Scientifique Weihenstephan à l'Université de Munich, tests permettant d'analyser l'interaction des différentes sources lumineuses sur les différentes variétés de gazons. On a pu ainsi prouver que les technologies modernes concernant les diodes lumineuses sont non seulement susceptibles de remplacer les systèmes d'éclairage classiques mais aussi d'améliorer de façon visible la qualité de l'éclairage tout en diminuant l'apport d'énergie. Les techniques de l'éclairage à diode lumineuse permet non seulement un choix personnel face aux différentes sources de lumière de telle sorte qu'elles s'adaptent aux différentes phases de croissance des gazons mais aussi aux conditions climatiques existant sur chacun des stades.

* Die Forschungsarbeiten entstanden in Zusammenarbeit mit der RHENAC GreenTec AG, Hennes

Einleitung

Die Rasenflächen in den Fußballstadien der Bundesliga sind höchsten Belastungen ausgesetzt, denn das schnelle Antreten, Abstoppen und Drehen während des Spiels führt zu Verletzungen der Grasnarbe. Ein schlechter Rasen kann zusätzlich das Verletzungsrisiko der Spieler erhöhen. Um die Qualität des Sportrasen während der gesamten Saison zu erhalten, sind Pflegemaßnahmen wie Mähen, Bewässern, Düngen, Vertikutieren, Aerifizieren, Lockern, Ausbesserung mit Rollrasensegmenten und Nachsaat erforderlich. Dabei steuern Licht, Temperatur, Wasser- und Nährstoffversorgung in Wechselwirkungen sämtliche physiologischen Vorgänge der Rasenpflanzen. Auch Einflussfaktoren wie Wind und mechanische Verletzungen beeinflussen das Längenwachstum, die Verzweigung und die Wurzelentwicklung. Bei optimaler Abstimmung aller Einflussfaktoren sind die Rasenpflanzen gut gegen Stressoren, Pflanzenkrankheiten und Schädlinge gewappnet. Dabei übt das Licht sowohl über die Belichtungsdauer und Lichtintensität als auch durch die spektrale Zusammensetzung Einfluss auf das Wachstum und die Stabilität der Pflanzen aus.

Die natürliche Wachstumsruhe des Rasens in den lichtarmen Wintermonaten, die die Pflege- und Reparaturarbeiten erschwert, wird in den Stadien inzwischen mittels Bodenheizung und künstlicher Belichtung verhindert. Eine zusätzliche Belichtung ist in vielen Stadien allerdings ganzjährig nötig, da die moderne Kesselform vieler Stadien mit den hohen Tribünen die direkte Sonneneinstrahlung auf die Rasenfläche auch im Sommer verhindert.

Bisher geschieht dies mittels Natriumdampfleuchten, die an rollbaren Gestellen über die Rasenflächen gefahren werden. Die Natriumdampfleuchten weisen ein rotbetontes Licht auf und erwärmen das Pflanzengewebe um ca. 2 °C bis 3 °C. Dieser Nebeneffekt ist im Winter bei kalten Temperaturen erwünscht, wirkt aber bei warmen Temperaturen als zusätzlicher Wärmestress, erhöht die Austrocknung und verbraucht zudem viel Energie. Die immer fortschrittlichere LED-Technologie erreicht mittlerweile hohe Strahlungsleistungen bei deutlich reduziertem Energieeinsatz, so dass sie schon jetzt nicht nur geeignet ist, die etablierten Belichtungssysteme zu ersetzen, sondern die Qualität der Beleuchtung deutlich zu verbessern. So ermöglicht

die LED-Technik individuelle Kompositionen verschiedener Lichtspektren für unterschiedliche physiologische Vorgänge wie Samenkeimung, Jungpflanzenentwicklung, Regeneration, Verzweigung, Längenwachstum und Wurzelentwicklung und lässt sich an die äußeren Klimabedingungen jedes Stadions anpassen.

Pflanzen haben nicht nur lichtsammelnde Fotosynthese-Pigmente (Chlorophyll und Carotinoide), sondern können auch mittels signalgebender Fotorezeptoren die Lichtfarben messen und sich so an die gegebenen Umwelteinflüsse anpassen. Dabei messen z.B. Rot-Rezeptoren (Phytochrome) den Rotanteil im Licht und Blau-Rezeptoren (Kryptochrome sowie Phototropine) den Blauanteil im Licht. Beide Lichtfarben sind Energiequellen der Fotosynthese und können vom Chlorophyll absorbiert werden. Das rote Licht kann dabei von der Pflanze effektiver genutzt werden als das blaue, dessen überschüssige Energie zum Teil in Wärme im Pflanzengewebe umgewandelt wird.

Aber die Qualität der Pflanze ist nicht nur von der Fotosynthese als Energiequelle für das Pflanzenwachstum abhängig, sondern auch von Abwehrstoffen und Pflanzenhormonen. Eine wichtige Abwehrstrategie von Pflanzen ist der Schutz vor UV-Licht sowie die Abwehr bzw. Prävention gegen Krankheiten wie Pilze und Fraßschädlinge. Pflanzen reichern sogenannte Sekundärstoffe (Abwehrstoffe) an, um Stressvorgängen direkt entgegenzuwirken oder diese zur Stabilisierung in Zellwände einzulagern (Hydroxyzimtsäuren). Als UV-Schutz werden in der oberen Zellschicht UV-Absorber (Flavonole und Anthocyane) angereichert, die darüber hinaus noch weitere Funktionen in der Pflanze übernehmen.

So sind Sekundärstoffe wie Flavonole dafür bekannt, dass sie den Transport von Pflanzenhormonen steuern. Vorgänge in Pflanzen werden wie bei allen Lebewesen von Hormonen gesteuert. Eine Anreicherung von Streckungshormonen (Auxine) bewirkt z.B. das Längenwachstum der Pflanzen. Sein Gegenspieler sind die Verzweigungshormone (Cytokinine), die die Seitentriebbildung (Bestockung) vorantreiben und die Wurzelverzweigung fördern. Demnach kann man den Gehalt an Hydroxyzimtsäuren in den Pflanzen als „Stabilisations-Marker“ und den Flavonol-Gehalt mit seinem Einfluss auf die Verzweigungs-Hormone als „Verzweigungs-Marker“ verwenden.

Da sich sowohl die UV-Schutz-Verbindungen (Flavonole und Anthocyane) als auch deren Vorstufen (Hydroxyzimtsäuren) durch UV-Licht, durch kurzwelliges Blaulicht und auch durch kalte Temperaturen anregen lassen, ist es möglich, über die Lichtqualität in Abstimmung mit äußeren Klimabedingungen Einfluss auf diese Sekundärstoffe zu nehmen und damit über Hormonwirkungen physiologische Vorgänge im Rasen zu steuern und zu optimieren.

Sowohl Spross- als auch Wurzelwachstum von Sportrasenarten unterliegen im Licht und auch im Temperaturbereich einem individuellen Optimum. Trotz maximaler Lichtverhältnisse wird deshalb im Sommer das Spross- und Wurzelwachstum reduziert, da die Temperatur während des Sommers meist weit über dem Optimum für viele gebräuchliche Gräserarten liegt. Die Reduktion des Wachstums im Winter lässt sich einerseits durch die geringere Einstrahlung der Sonne und andererseits durch die niedrigen Temperaturen, die teilweise unterhalb der unteren Temperaturgrenze für Spross- und Wurzelwachstum der Rasengräser liegen, erklären. Somit liegt die optimale Temperatur für Sprosswachstum bei 15-24 °C und für Wurzelwachstum bei 10-18 °C (FELLENBERG und MÜLLER-BECK, 2014). Unter 5 °C und über 32 °C unterbleibt das Sprosswachstum, unter 0,5 °C und über 25 °C unterbleibt das Wurzelwachstum. Die optimale Temperatur für die Aussaat beträgt 21 °C. Ab -6 °C kann es zum Absterben der Pflanze kommen.

Material und Methoden

Am Gewächshauslaborzentrum am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München werden seit 2013 Untersuchungen von Wechselwirkungen von Licht und Klima auf Rasenarten (einzelne Sorten sowie Nachsaatmischungen von *Festuca arundinacea*, *Poa pratensis* und *Lolium perenne*) vorgenommen. Diese Rasenarten finden im Sportrasenbereich Verwendung. *Festuca arundinacea* wird wegen seiner Eigenschaften als anspruchlose und belastbare, grob strukturierte und horstbildende Rasenart mit guter Schnittverträglichkeit und Trockenstresstoleranz verwendet. *Festuca arundinacea* ist langsam im Wachstum und hat eine kurze Keimdauer von 10 bis 19 Tagen bei einer Keimrate von ca. 85 %. *Poa pratensis* zeichnet sich als fein strukturierte, rhizombildende Rasenart aus, die gut schnittverträglich

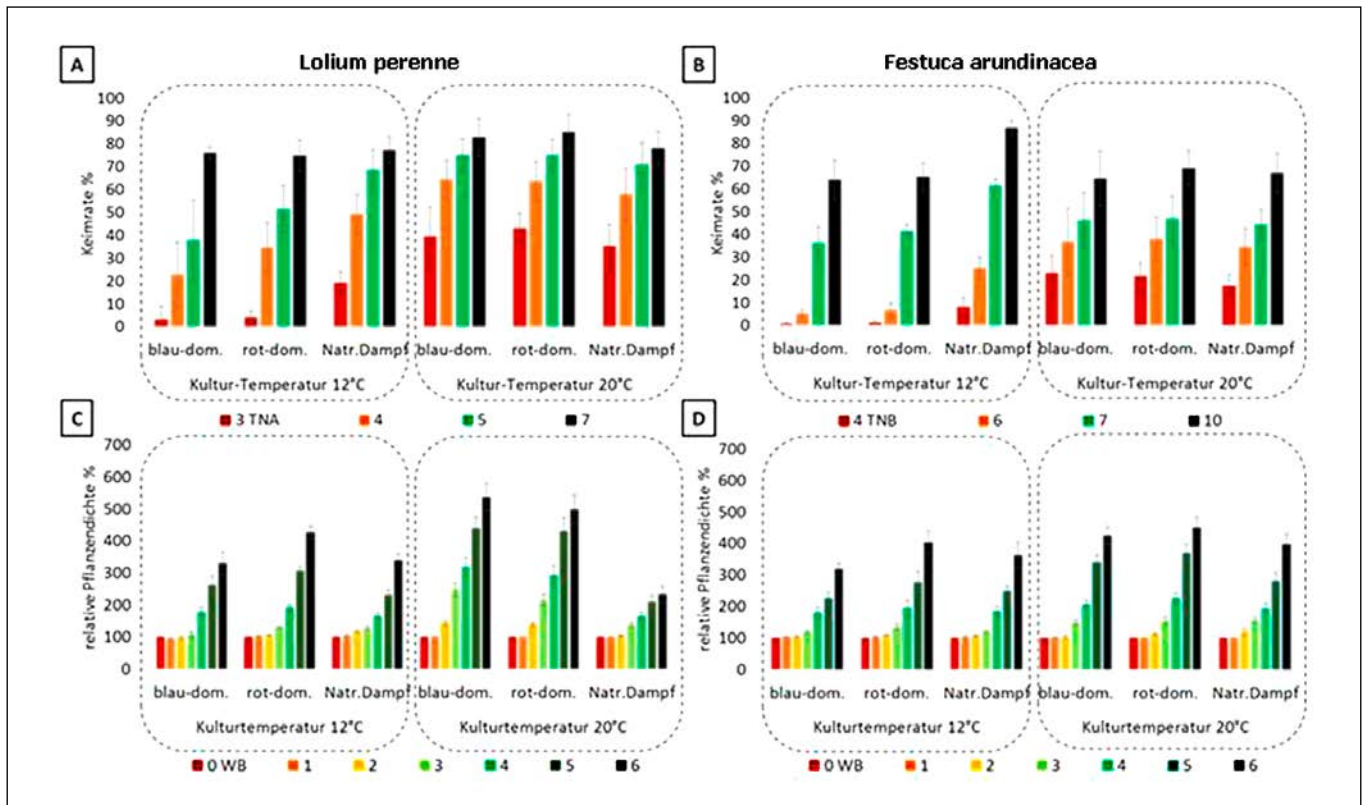


Abb. 1: Keimverhalten von *Lolium perenne* (A) und *Festuca arundinacea* (B) sowie die Jungpflanzen-Entwicklung von L.p. (C) und F.a. (D) bei 12 °C und 20 °C Kulturtemperatur und drei verschiedenen Lichtqualitäten (LED => blau-dom.: Blaulicht (440 nm) und Rotlicht (660 nm) 2:1; LED => rot-dom.: Blaulicht (440 nm) und Rotlicht (660 nm) 1:2; Natr.Dampf => Natrium-Dampfleuchte) mit je 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (ca. 15 klux) Lichtintensität und 20 h Belichtung. Balken stellen beim Keimverhalten (A, B) die Keimraten (%) in Tagen nach Aussaat (TNA), bei der Jungpflanzenentwicklung (C,D) die relative Pflanzendichte % (Versuchsstart = 100 %) in Wochen Belichtung (WB) dar. MW +/- 1/2 Stabw. 12 °C n = 5; 20 °C n = 12

lich, belastbar und langsamwüchsig ist. Die Keimdauer beträgt allerdings 14 bis 28 Tage mit einer Keimrate von ca. 70 %. Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt auf *Lolium perenne*, einer fein strukturierten, horstbildenden Rasenart, die als sehr strapazierfähig, regenerationsfreudig und tiefschnittverträglich gilt. Bei einer Keimdauer von nur 7 bis 14 Tagen und einer Keimrate von ca. 90 % wird es häufig zur Nachsaat verwendet (TURGEON, 1996).

Besonders nach einem intensiven Spielbetrieb müssen stark beanspruchte Bereiche der Grasnarbe regeneriert werden, vorwiegend durch die Nachsaat von Rasengräsern. Dabei empfiehlt sich der Einsatz einer Mischung von Gräserarten mit einem hohen Anteil von *Lolium perenne*, da dies zur schnellen Schließung lichter Rasennarben führt.

In Untersuchungen am Gewächshauslaborzentrum wurden die Auswirkungen der Lichtqualität von zwei unterschiedlichen Beleuchtungssystemen (LED-Leuchten von Rhenac GreenTec und Natriumdampfleuchten von Philips) in Kombination mit zwei unterschiedlichen Aussaat-Temperaturen auf das

Keimverhalten und die Jungpflanzenentwicklung von Rasensamen untersucht. Dabei wurden Rasensamen bei 12 °C und 20 °C täglich 20 Stunden lang unter je 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (ca. 15 klux) Lichtintensität und verschiedenen Licht-Spektren kultiviert:

- Rhenac-LED Blau (440 nm) Rot (660 nm) (1) blau-dominiert Blau (440 nm)/ Rot (660 nm) = 2:1
- (2) rot-dominiert Blau (440 nm)/ Rot (660 nm) = 1:2
- (3) Natriumdampfleuchte (Philips)

Ergebnisse

Die Aussaat in Erdkultur führte in Vorversuchen bei der Natriumdampfleuchte und einer reinen-LED-Blau-Belichtung trotz täglich mehrfacher Bewässerung zu einer verminderten Keimung der Samen. Bei der reinen-LED-Rot-Belichtung war die Keimung dagegen besser. Die Ursache liegt ausschließlich in einer starken Austrocknung der Samen durch die hohe Wärmeentwicklung bei der Natriumdampfleuchte bzw. einer höheren Energieeintragung bei reiner LED-Blau-Belichtung. Aus die-

sem Grund und da außerdem für die Praxis keine Einzel-Spektren angestrebt werden, wurden für die Versuche die LED-Lichtspektren so gemischt, dass immer sowohl Blaulicht als auch Rotlicht enthalten waren.

Sowohl bei *Lolium perenne* als auch bei *Festuca arundinacea* hat die Lichtqualität bei 20 °C Kulturtemperatur (LED oder Natriumdampfleuchte) keinen Einfluss auf das Keimverhalten. (Abbildungen 1 A und B). Bei einer Kulturtemperatur von 20 °C hat die zusätzliche Samenerwärmung durch die Natriumdampfleuchte keinen Einfluss auf die Keimgeschwindigkeit. Bei 12 °C Aussaattemperatur erwärmt die Natriumdampfleuchte das Saatgut auf 15 °C, was sich im Vergleich zu den LED-Varianten (13 °C Samentemperatur) leicht positiv auf die Auskeimgeschwindigkeit auswirkt. Dieser Keimvorsprung ist aber bei *Lolium perenne* nach sieben Tagen nicht mehr erkennbar (Abbildung 1 A) und bei *Festuca arundinacea* nur leicht (Abbildung 1 B). Also haben die Temperatur und der Feuchtestatus der Samen einen größeren Einfluss auf das Keimverhalten des Rasensamens als die Lichtqualität.

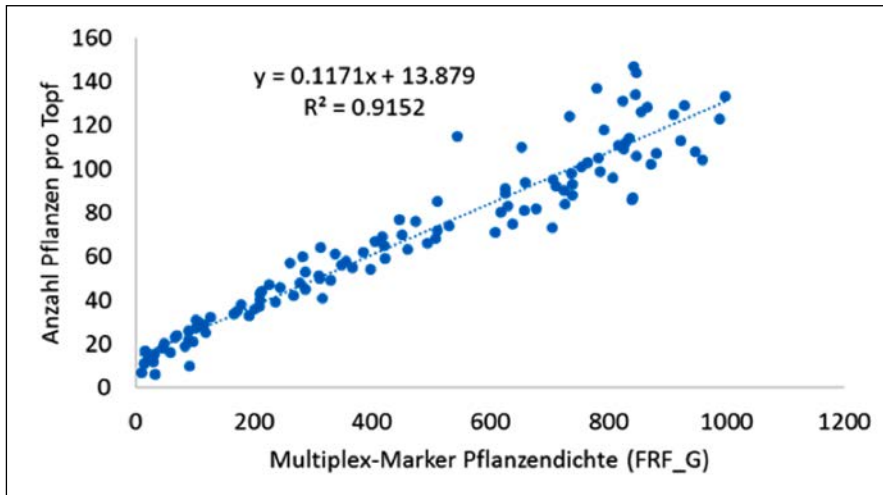


Abb. 2: Reelle Pflanzendichte (Anzahl Pflanzen pro Topf) verglichen mit dem Force-A Multiplex® Pflanzendichte-Marker (FRF_G) kleiner als 1000 Multiplex-Units (ohne Blende bei Konfiguration 1 gemessen) aus allen Messungen von *Lolium perenne* und *Festuca arundinacea* Jungpflanzen kultiviert bei 20 °C mit 200 µmol/m²*s (ca. 115 klux) für 20 h täglich über alle Belichtungs-Varianten.

Anders sieht das bei der weiteren Entwicklung der Jungpflanzen bei *Lolium perenne* aus (Abbildung 1 C). Dies wurde anhand der Bestockung (Seitentriebbildung) bestimmt. Bei einer Kultur-Temperatur von 20 °C wird die Seitentriebbildung durch beide LED-Mischungen beschleunigt, was mit zunehmendem Blaulichtanteil (blaudom.) noch deutlicher wurde. Bei den LED-Mischungen begann die Seitentriebbildung bereits 20 Tage nach der Jungpflanzenentfaltung, die in den folgenden 20 Tagen zu einer Verdreifachung der Pflanzendichte führte. Unter der Natriumdampfbelichtung setzte die Verzweigung deutlich später ein und erreicht in den 7 Wochen Kulturzeit nicht den Endwert der LED-Licht-Varianten. Auch die Qualität der Pflanzen war unter Natriumdampfbelichtung vermindert. Demnach ruft ein höherer Blauanteil im Lichtspektrum eine Verkürzung der juvenilen Phase (Jugendstadium der Pflanzen) hervor, was sowohl in einer zunehmenden Seitentriebbildung als auch in einer stabileren Pflanzenstruktur sichtbar wird.

Bei einer Kulturtemperatur von 12 °C war die Bestockung von *Lolium perenne* generell etwas verzögerter und der positive Blaulicht-Effekt deutlich vermindert. Auf die Jungpflanzenentwicklung von *Festuca arundinacea* hatten sowohl die Kulturtemperatur als auch die Lichtqualität einen deutlich geringeren Einfluss (Abbildung 1 D).

Die Ursache einer Verkürzung der juvenilen Phase und einer Anregung der Seitentriebbildung könnte in den sekundären Inhaltsstoffen der Pflanzen liegen, deren Gehalt je nach Rasenart

unterschiedlich ist und der sich durch Kulturmaßnahmen wie Temperatur und Lichtzusammensetzung beeinflussen lässt.

Durch die Möglichkeit der Fluoreszenzmessung mittels eines Force-A Multiplex können Pflanzen-Inhaltsstoffe zerstörungsfrei gemessen werden. Wie in Abbildung 2 gut zu sehen ist, lässt sich die Pflanzendichte sehr gut über den einfach zu ermittelnden Pflanzendichte-Marker (FRF_G) darstellen. Vergleicht man über beide Grasarten sowie die gesamte Laufzeit und alle Belichtungsvarianten die reell gezählte Pflanzendichte (Anzahl Pflanzen pro Topf) mit dem Pflanzendichte-Marker FRF_G (Force-A Multiplex®), ergibt sich eine Übereinstimmung von 91,52 %. Bei höheren Dichten verringert sich der Zusammenhang auf 85 %, was sich auf Fehler beim händischen Zählen zurückführen lässt. Demnach lässt sich das Gerät sehr gut zur Erfassung der Pflanzendichte von Rasen verwenden.

Während sich *Lolium perenne* unter den mehr Blaulicht enthaltenden LED-Leuchten deutlich mehr verzweigt, sind sowohl der Chlorophyllgehalt (Chlorophyll-Marker/Pflanze) als auch der Gehalt an Hydroxymyrsäuren (Stabilisations-Marker) unter allen Lichtspektren gleich hoch (Abbildung 3). Der Verzweigungs-Marker ist bei den LED-Spektren schon nach fünf Wochen angereichert. Unter der Natriumdampfbelichtung steigt er erst in der 7. Woche langsam an. Der schnellere Anstieg der Flavonole bei den LED-Varianten wird durch den höheren Blau-Licht-Anteil im Spektrum angeregt und bewirkt die deutlich

schnellere Verzweigung der Jungpflanzen. Unter der Natriumdampfbelichtung sind die *Lolium perenne*-Jungpflanzen außerdem stärker belastet, was an der Erhöhung der beiden Stressmarker-Werte zu erkennen ist.

Diskussion

Die Untersuchungen belegen, dass es einen Zusammenhang zwischen dem Flavonol-Gehalt der Pflanzen (Verzweigungs-Marker) und einer zunehmender Bestockung (Seitentriebbildung) sowie Verkürzung der juvenilen Phase (Jugendstadium der Pflanzen) gibt. Dadurch bilden die nachgesäten Rasenpflanzen schneller eine dichte und strapazierfähige Rasenfläche. Diese Flavonole werden je nach Rasenart in unterschiedlichen Konzentrationen gebildet und können durch Kältereize und Blau-Licht (und UV-Licht) angeregt werden. Die Flavonole fördern die Bestockung des Rasens, indem sie das Gegenspieler-Hormon des Verzweigungshormons hemmen (BROWN, 2001; CASIMIRO, 2001; LEWIS, 2011).

Dass auch die Temperatur einen Einfluss auf die Sprossbildung hat, zeigten schon GANDERT und BURES (1991), da höhere Unterschiede zwischen Tag- und Nachttemperaturen die Sprossbildung von Rasenpflanzen deutlich erhöhen. Dieser Zusammenhang könnte auf eine Anreicherung von Flavonole durch Kältereize basieren.

Dass die Lichtqualität einen deutlichen Einfluss auf die Pflanzenqualität hat, steht außer Frage. Durch die spektrale Zusammensetzung und den UV-Anteil im Sonnenlicht haben Rasenpflanzen kürzere Stängel, sind dadurch stabiler und blühen später (HELD, 2015), haben eine höhere Bestockung (EVERS, 2007) und eine höhere Trockenmasse der Bestockungstriebe (JEFFERSON P.G. und R. MURI) als im Schatten stehende Pflanzen. In den meisten Stadien beträgt der Sonneneinfall weniger als 10 %, sodass den Pflanzen diese Lichtreize fehlen. Da es technisch sehr teuer und auch aufwändig ist, UV-Licht künstlich einzubringen, kann man dies durch den Einsatz von kurzwelligem LED-Blaulicht kompensieren. Die vergleichbare Auswirkung von Blaulicht auf die Regulation des Längenwachstums und der Pflanzenverzweigung ist bereits in vielen Studien nachgewiesen. Nun müssen noch die einzelnen Einflussfaktoren wie Lichtintensität, Lichtzusammensetzung und Lufttemperatur bzw. Temperatur der Bodenoberfläche aufeinander ab-

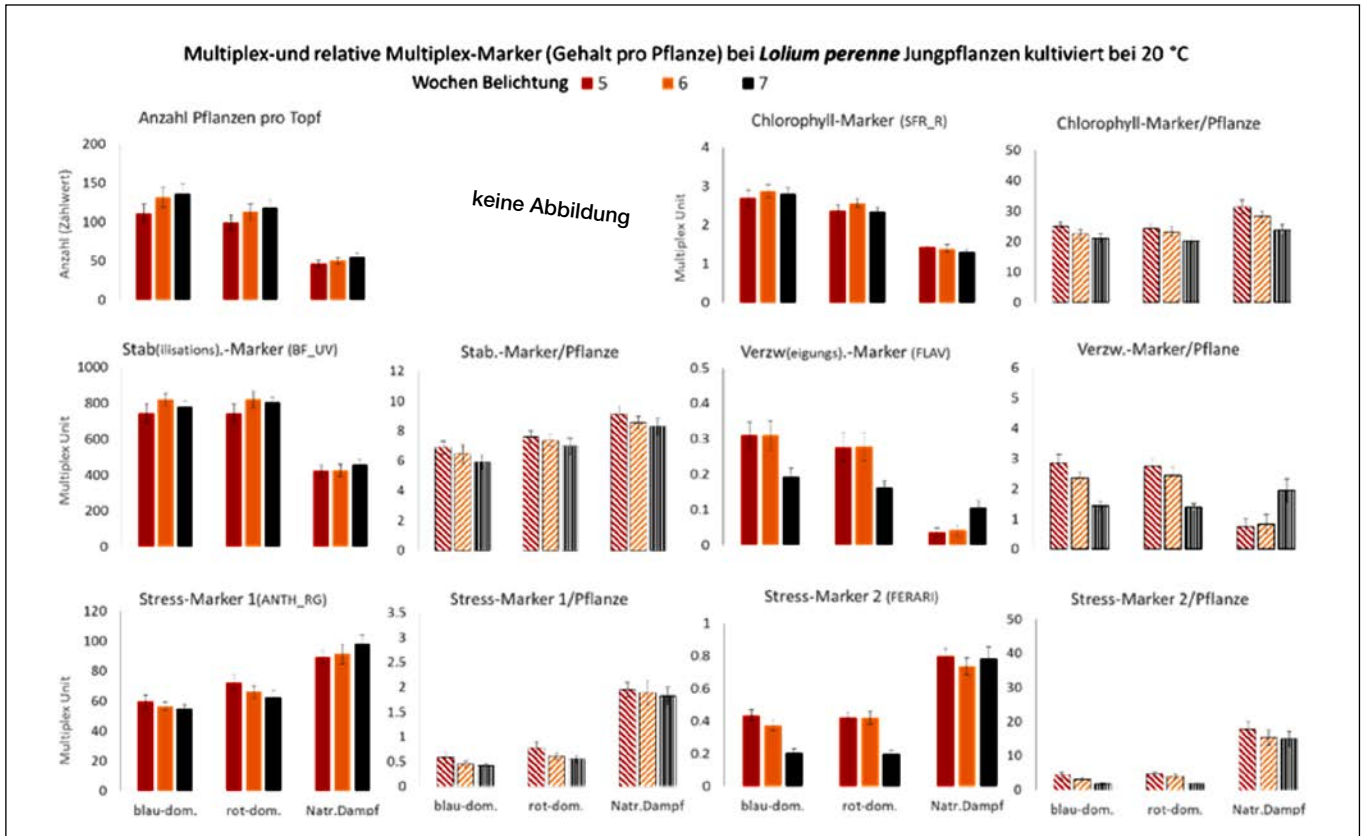


Abb. 3: *Lolium perenne*: absolute Multiplex-Marker sowie relative Multiplex-Marker (Marker-Unit/Pflanze) ermittelt mittels Force-A Multiplex® (gemessen ohne Blende bei Konfiguration 1) von *Lolium perenne*-Jungpflanzen über eine Belichtungsdauer von 7 Wochen bei 20 °C Kulturtemperatur und drei verschiedenen Lichtqualitäten. LED-Spektren blau: 440 nm und rot: 660 nm; blau-dominiert (blau-dom.): Blau/Rot = 2/1; rot-dominiert: (rot-dom.): Blau/Rot = 1/2; Natr. Dampf Natrium-Dampflichte mit je 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ (ca. 15 klux) Lichtintensität und 20 h Belichtung. Ausgefüllte Balken stellen die verschiedenen absoluten Multiplex-Marker, gemusterte Balken stellen die relativen Marker (Marker/Pflanze) dar. Für eine bessere Darstellung wurden die Stress-Marker 1 und 2 wie folgt umgerechnet: Stressmarker 1: $(\text{ANTH_RG}+0,1) \cdot 1000$; Stress-Marker 2: $(\text{FERARI}+0,5)$; Werte entsprechen jeweils MW \pm 1/2 Stabw. ; n=12

gestimmt werden, um je nach Jahreszeit individuell der zu regenerierenden Grünfläche die Kombination zu geben, die sie für eine gute Qualität benötigt. Diese Feinabstimmung ist aufgrund einer neuen LED-Technologie in Kombination mit der Erfassung von Klimadaten in Zukunft individuell für jedes Stadion möglich. Dies ermöglicht eine zielgenaue Nachführung der Licht- und Temperaturbedingungen hin zu optimierten Wachstumsbedingungen für den Sportrasen.

Fazit

Aus den Versuchsergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Um die optimale Qualität des Stadionrasens zu gewährleisten, ist eine ganzjährige Zusatzbelichtung erforderlich.
- Die Belichtungsregime müssen den jeweiligen Anforderungen an die Rasenpflege (Keimung, Wachstum, Seitentriebbildung zur Verbesserung der Narbendichte) angepasst werden.

- Die LED-Lichttechnik ist in der Gesamtbetrachtung energieeffizient, variabel in der Lichtzusammensetzung und nach neuestem Stand der Technik damit bestens geeignet, die konventionellen Lichtsysteme zur Rasenpflege (Natriumdampflampen) nicht nur zu ersetzen, sondern die Wirkung der Belichtung zu optimieren.

Literatur

- BROWN, D.A., 2001: Flavonoids Act as Negative Regulators of Auxin Transport in Vivo in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 126: 524-535.
- CASIMIRO, I.A., 2001: Auxin Transport Promotes Arabidopsis Lateral Root Initiation. *Plant Cell*, 13: 843-852.
- EVERS, J.J., 2007: Simulating the effect of localized red:far-red ratio on tillering in spring wheat (*Triticum aestivum*) using a three-dimensional virtual plant model. *The New phytologist*, 176(2): 325-336.
- FELLENBERG, D. und K. MÜLLER-BECK, 2014: Rasenwachstum bei milden Wintertemperaturen. *Deutsche Rasengesellschaft e.V.*, www.rasengesellschaft.de/content/rasenthema/2014/01.php.

GANDERT, K.-D. und F. BURES, 1991: Handbuch Rasen. Grundlagen, Anlagen, Pflege. 1. Auflage Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag.

HELD, H.B., 2015: Pflanzenbiochemie. 5. Auflage Heidelberg: Springer-Spektrum.

JEFFERSON, P.R. (kein Datum): Light quality effects on grass seedlings growth and development. *Plant Physiology and Growth*, ID NO 1634: 67-68.

LEWIS, D.M., 2011: Auxin and Ethylene Induce Flavonol Accumulation through Distinct Transcriptional Network. *Plant physiology*, 156: 164-164.

TURGEON, A., 1996: Turfgrass Management. New Jersey: 4th ed. Prentice.

Autoren:

Dr. S. Steger
Dipl.-Ing. F. Steinbacher
H. Behtge
C. Dreier
Technische Universität München
Gewächshauslaborzentrum Dürnast
D-85350 Freising