

Trockenstress an Gebrauchsrasenmischungen und einzelnen Arten sowie die Bewertung der Regenerationspotenziale*

Nitzschke, S., K.G. Müller-Beck und W. Prämaßing

Zusammenfassung

Trockenstress ist einer der stärksten limitierenden Faktoren für das Pflanzenwachstum (BAHRANI et al., 2010). Ein gesundes Rasenwachstum steht demzufolge unmittelbar im Zusammenhang mit einer guten Wasserverfügbarkeit. Jedoch sind Trockenperioden in den letzten Jahren immer häufiger aufgetreten (BEIERKUHNLIN et al., 2011). In diesem Versuch wurden Auswirkungen von Trockenstress auf drei verschiedene Rasenmischungen und fünf Einzelgräser untersucht, sowie deren Regenerationsverhalten. Zielgrößen waren der „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI), Deckungsgrad, das vertikale Wurzelwachstum und die optischen Kriterien Rasenfarbe und Rasenaspekt. Im Laufe der Trockenperiode nahmen die optische Rasenqualität, Deckungsgrad und NDVI für alle acht Untersuchungsobjekte drastisch ab. Im Allgemeinen waren die Arten *Festuca rubra* und *Festuca trachyphylla* am widerstandsfähigsten gegen Trockenstress, *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* waren am empfindlichsten. Die anderen Arten und Mischungen waren intermediär. Im Verlauf der Regenerationsphase kehrte sich das Bild um und die Arten *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* zeigten die schnellsten Fortschritte, während die Arten *Festuca rubra* und *trachyphylla* auf einem niedrigen Level stagnierten. Alle drei getesteten Rasensaatgutmischungen zeigten ebenfalls ein schnelles und ausgeprägtes Regenerationsverhalten.

Letztendlich sollten dennoch weitere Untersuchungen angestrebt werden, um erstens die Gewichtung der einzelnen Schutzmechanismen gegen Trockenstress zu benennen und zweitens weitere Faktoren zu ermitteln, die ausschlaggebend für eine erfolgreiche und schnelle Regeneration sind. Diese Datensammlungen tragen dazu bei, geeignete Arten und Sorten auszuwählen, welche ganzheitlich auf Trockenperioden reagieren können.

Summary

Drought stress is one of the factors which hampers the most the growth of the grass (BAHRANI et al., 2010). In consequence a healthy turf growth depends directly on a good water availability. However, there has been more and more dry periods during the last years (BEIERKUHNLIN et al., 2011). Therefore, in this experiment, not only the consequences of the drought stress have been analysed on three different grass mixtures and five individual grasses, but also their regeneration capability. The objectives of these experiment were to find out the „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI), the degree of coverage, the vertical root growth and some optical criteria: the color of the turf and its appearance. During the dry period the optical quality of the turf as well as its degree of coverage and the NDVI decreased drastically for all the eight objects tested. However, the species *Festuca rubra* and *Festuca trachyphylla* were generally the most resistant against the drought stress while *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne* were the most vulnerable. The other species and mixtures were inbetween. During the period of regeneration the picture turned around and the species *Festuca rubra* and *Festuca trachyphylla* showed the faster progress while the *Festuca arundinacea* and *Lolium perenne* stagnated at a low level. The three tested species of grass mixtures revealed likewise a fast and remarkable regeneration.

Finally, further tests should be done; first in order to be able to better evaluate the weighting of each protection mechanism against the drought stress and second, to determine further factors which are of prime importance for a fast and effective regeneration.

Résumé

Le stress dû à la sécheresse est l'un des facteurs les plus importants inhibant la croissance des graminées (BAHRANI et al., 2010). En conséquence, la croissance optimale d'un gazon dépend uniquement d'un apport d'eau ininterrompu. On note par ailleurs que les périodes de sécheresse sont de plus en plus nombreuses ces dernières années (BEIERKUHNLIN et al. 2011). Dans l'expérience ci-dessous on a analysé l'impact du stress dû à la sécheresse sur trois différents mélanges de semences pour gazon, ainsi que leur capacité de régénération. C'est pourquoi les objectifs principaux de cette expérience étaient de définir le „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI), ainsi que leur degré de couverture du gazon, la croissance verticale de leurs racines et certains critères optiques, tels leur couleur et l'aspect du gazon. Lors des périodes de sécheresse on note pour huit des graminées analysées une nette régression de l'aspect optique du gazon, ainsi que de son degré de couverture et du NDVI. Les variétés *Festuca rubra* et *Festuca trachyphylla* se sont révélées être les plus résistantes au stress dû à la sécheresse tandis que les variétés *Festuca arundinacea* et *Lolium perenne* étaient les plus vulnérables à la sécheresse. Tous les autres mélanges et variétés se situaient entre ces deux extrêmes. C'est au cours de la période de régénération qu'on voit un retournement complet de la situation. Ce sont les variétés *Festuca arundinacea* et *Lolium perenne* qui ont fait les meilleurs progrès tandis que les variétés *Festuca rubra* et *Festuca trachyphylla* stagnaient au même bas niveau. Toutes les trois variétés de semences pour gazon testées ont également fait preuve d'une bonne et rapide régénération.

Il est toutefois indispensable de faire autres analyses plus approfondies pour d'une part pouvoir évaluer les mécanismes de protection des graminées contre le stress dû à la sécheresse et par ailleurs définir quels sont les facteurs déterminant une régénération rapide du gazon. Grâce aux informations ainsi obtenues il est possible de choisir les variétés de semences qui résistent le mieux aux périodes de sécheresse.

*) Der Beitrag basiert auf den Ergebnissen der Masterarbeit an der Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Management im Landschaftsbau, NITZSCHKE (2020).

Einleitung

Rasenflächen sind von hoher Bedeutung für das Landschafts- und Stadtbild und werden neben gestalterischen und ökologischen Aspekten ebenso für ihre Funktion in Sportanlagen geschätzt. Ein gesundes Rasenwachstum steht dabei unmittelbar im Zusammenhang mit einer guten Wasserverfügbarkeit. Jedoch ist die Wasserverfügbarkeit in den letzten Jahren, durch geringe Niederschläge in Kombination mit steigender Nachfrage nach Bewässerung, zu einem größeren Problem geworden.

Angesichts des zunehmenden Drucks, bei der Bewirtschaftung von Rasenflächen ökologischere und wirtschaftlichere Strategien anzuwenden, werden Studien darüber, wie sich die Gräser unter Stressbedingungen verhalten und anpassen, immer wichtiger.

Mit der vorgelegten Masterarbeit sollten u. a. einige Kriterien für die zukünftigen Ansprüche und Leistungen von Rasenflächen beantwortet werden. Folgende Fragestellungen standen dabei im Fokus:

- Welche Auswirkungen hat Trockenstress auf unterschiedliche Rasengräserarten im Vergleich zu Saatgutmischungen?
- Wie verläuft das Regenerationsvermögen im Anschluss an eine Beregnung?

Zur Bewertung der Varianten wurden eine Reihe von Parametern erfasst, hier soll insbesondere über die Veränderung des Aspektes und die Vitalität der Rasenflächen berichtet werden.

Auswirkung von Trockenstress auf die Pflanzen

Als Trockenstress bezeichnet man den Zustand von Pflanzen, wenn ihnen zu wenig Wasser in geeignetem thermodynamischem Zustand zur Verfügung steht (LARCHER, 2001). Neben zu trockenen Böden kann Trockenstress ebenfalls eintreten, wenn das Wasser zu stark im Boden gebunden ist, etwa durch Bodenfrost oder osmotische Wasserbindung in versalzten Böden oder auf flachgründigen Standorten, die wenig Platz für Wurzelmasse lassen.

Eine Trockenheitsbelastung als Stressereignis entwickelt sich im Gegensatz zu vielen anderen Stressereignissen in

der Regel langsam und verstärkt sich mit der Dauer der Trockenheit (LARCHER, 2001). Trockenheitssymptome an Pflanzen treten häufig auf, wenn der Wasserverlust durch Verdunstung und zellulären Wasserverbrauch die Wasseraufnahme und/oder -verfügbarkeit übersteigt (RUCAMUMIHIGO, 2018). In Abhängigkeit von den auslösenden Faktoren sowie der Intensität und Dauer der Trockenheitsbelastung können die Auswirkungen auf die Pflanze unterschiedlich sein, wobei auch nur einzelne Teile der Pflanze betroffen sein können.

Wenn Pflanzen Wasser über die Zellwände abgeben, fließt Wasser aus dem Interzellularraum nach und die Zelle beginnt zu welken, das Zellvolumen sinkt. Welken bedeutet, dass die Zellen sich zusammenziehen, schrumpfen und sich verformen. Je mehr das Protoplasma dadurch irreversibel geschädigt wird, desto empfindlicher reagiert die Pflanze auf Wassermangel. Durch die Volumenverkleinerung der Zelle kommt es zu einer Konzentrierung gelöster Stoffe, die verschiedene Effekte hervorruft (BEYEL, 2003).

Auf den Rückgang des Turgors reagiert die Pflanze mit der Produktion von Phytohormonen, die als Signalfstoffe für Trockenstress unterschiedliche Schutzmaßnahmen einleiten. Über die Kontrolle der Spaltöffnungen kann die Pflanze einem Wassermangel zu-

nächst entgegenwirken. Hierbei entfällt der Kühlungseffekt, der durch die Verdunstung an den Blättern entsteht. Als Folge der geschlossenen Stomata wird der Gaswechsel eingeschränkt. Da kein Kohlendioxid mehr über die Spaltöffnungen aufgenommen werden kann, sinkt die Konzentration im Blattinneren. Das Wachstum der Pflanze wird in Folge der Beeinträchtigung von Fotosynthese reguliert (RUCAMUMIHIGO, 2018).

Wachstumsprozesse, insbesondere das Streckungswachstum, kommen zum Erliegen. Die Assimilatverteilung und das Verhältnis von Wurzel zu Spross kann sich aber zu Gunsten des Wurzelwachstums verändern. Die Pflanze reagiert mit der Ausdehnung ihrer Wurzeln in tiefere Bodenschichten, um die Wasseraufnahme zu verbessern (LARCHER, 2001).

Anpassungsstrategien der Rasengräser

Der Wasserverlust durch Bodenverdunstung fällt bei dichten Rasenflächen geringer aus als bei dünnen, lückenhaften Rasenflächen (HUANG et al., 2014). Das Wachstum der Triebe beeinflusst somit den Wasserverlust einerseits durch die Transpiration der Blätter und andererseits durch die Verdunstung des Bodens. Die Verdunstung (Evaporation) an der Bodenoberfläche bildet zusammen mit der Wasserabgabe (Transpiration) der Gräser



Abb. 1: Gefäßversuch zur Prüfung von Trockenstress bei Rasengräsern.

(Foto: S. Nitzschke)

in Summe die Evapotranspiration. Studien zu Evapotranspirationsraten (ET-Raten) an einigen Sorten von *Poa pratensis* konnten niedrige ET-Raten unter anderem auf eine langsame vertikale Wuchsrichtung zurückführen. Auch eine hohe Triebdichte und eine feine Blatttextur wirkten sich positiv auf niedrige ET-Raten aus (EBDON and PETROVIC, 1998).

Gräser mit schnellem, eher aufrechtem Wuchs haben dagegen tendenziell höhere Wasserverbrauchsrate. Pflanzen mit langsam wachsenden Trieben können längere Dürreperioden überleben als schnell wachsende Pflanzen, indem sie Wasser sparen.

HUANG (2008) berichtete, dass trockenheitstolerante Sorten von *Poa pratensis* eine höhere stomatale Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen des ABA-Blattgehalts (ABA = Abscisinsäure) im Vergleich zu trockenheitsempfindlichen Sorten aufwiesen, was zu einer früheren Schließung der Stomata, weniger Zellmembranschäden und einer allgemeinen Verzögerung der Abnahme der Gesamtqualität des Rasens führte. Sie kam zu dem Schluss, dass die Trockenoleranz von *Poa pratensis* mit der Empfindlichkeit der Spaltöffnungen gegenüber einem Anstieg der ABA-Produktion in Zusammenhang steht.

Material und Methoden

Versuchsaufbau und Anlage

Der Versuch wurde in den Wintermonaten im Gewächshaus der Hochschule Osnabrück als Gefäßversuch durchgeführt. Die Wachstumsbedingungen für die Gräser waren bei einer Temperatur von 18 °C und bei der Luftfeuchtigkeit zwischen 60 und 70 % eingestellt.

Die Versuchsanordnung ist in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Sie entspricht einer vollständig randomisierten Anlage mit vierfacher Wiederholung. Insgesamt wurden fünf Arten als Reinsaat und drei RSM-Mischungen in dem Gefäßversuch mit 32 Versuchskisten und folgenden Kennzeichnungen geprüft.

Die Parzellen der Einzelsorten wurden als „Doppelkiste“ angelegt. Das bedeutet zwei Versuchskisten, die nebeneinander stehen, werden als eine Parzelle betrachtet. Die RSM-Mischungen wurden in Einzelkisten angelegt. Bei den Versuchsgefäßen handelt es sich um einfache Plastikboxen, die am Boden einige Löcher aufweisen. Die Kisten hatten folgen-

FA 1	LPE 4	PP 3	FT 1	LPE 2
PP 1	FR 3	FR 2	FA 3	FR 4
FT 2	FA 4	PP 4	FA 2	LPE 1
LPE 3	FT 3	PP 2	FR 1	FT 4

Abb. 2: Versuchsanordnung der Reinsaaten mit folgenden ausgewählten Arten: *Poa pratensis* (PP, Wdh.1-4), *Lolium perenne* (LPE, Wdh. 1-4), *Festuca rubra* (FR, Wdh. 1-4), *Festuca arundinacea* (FA, Wdh. 1-4), *Festuca trachyphylla* (FT, Wdh 1-4).

SM 3.3	SM 3.2	SM 2.1
SM 2.2	SM 1.3	SM 1.4
SM 1.1	SM 3.1	SM 1.2
SM 2.4	SM 3.4	SM 2.3

Abb. 3: Versuchsanordnung folgender ausgewählter RSM-Typen nach FLL (2020): RSM 2.2.1 (SM 1, Wdh.1-4); RSM 2.2.2 (SM 2, Wdh.1-4); RSM 2.3 (SM3, Wdh. 1-4).

de Maße: Länge 37 cm, Breite 27 cm und Höhe 17 cm. Die Kisten wurden mit einem handelsüblichen Gartenvlies ausgelegt und mit Oberboden gefüllt. Die Körnungslinie bestätigte einen sehr hohen Sandanteil für den Boden. Mit dem hohen Sandanteil konnte der spätere Vorgang des Austrocknens gefördert werden. Die Gefäße wurden im Gewächshaus auf Europaletten platziert und gemäß dem Versuchsplan angeordnet (Abbildungen 3 und 4).



Abb. 4: Versuchsaufbau im Gewächshaus kurz vor der Aussaat. (Foto: S. Nitzschke)

Vor der Aussaat wurden die Gefäße mit einem NPK-Dünger (16+7+15+2) auf der Basis von 7,7 g Rein-N/m² aufgedüngt. Die Aussaatmengen wurden gemäß den Empfehlungen der Firma Juliwa-Hesa GmbH festgelegt und sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Die Aussaat erfolgte von Hand in eine aufgeraute Oberfläche und anschließender leichter Einarbeitung und Bewässerung.

Name	Aussaatmenge in Gramm pro m ²	Aussaatmenge in Gramm pro Versuchskiste
Gebrauchsrassenmischungen		
RSM 2.2.1	25	2,48
RSM 2.2.2	35	3,47
RSM 2.3	25	2,48
Einzelsorten		
<i>Festuca rubra</i>	30	2,97
<i>Festuca arundinacea</i>	30	2,97
<i>Lolium perenne</i>	50	4,95
<i>Poa pratensis</i>	10	0,99
<i>Festuca trachyphylla</i>	30	2,97

Tab. 1: Aussaatmengen der RSM Mischungen und der Reinsaaten für den Gefäßversuch.

Etablierungsphase zur Narbenbildung

Nach der Ansaat am 28.01.2020 diente die Etablierungsphase zur Herstellung einer möglichst einheitlichen Narbendichte. Hier waren einige unterstützende Maßnahmen wie Nachsaat und zusätzliche Vegetationsbeleuchtung erforderlich. Am 03.03.2020 wurde erstmalig mit einem Sichelmäher gemäht. Weitere Schnitte erfolgten dann nach der Drittel-Regel bei einer Schnitthöhe von sechs Zentimetern.

Phase der Trockenperiode

Die Trockenperiode startete am 26.03.2020 mit dem Einstellen der Bewässerung, nachdem tags zuvor noch einmal mit einer Bewässerungsmenge von 20 Liter/m² bewässert wurde. In dieser zweiten Versuchsphase wurden die Parameter Bodenfeuchte, NDVI-Wert, Deckungsgrad und visuelle Aspekte erhoben. Die Bodenfeuchte wurde zweimal wöchentlich mit dem „Bodenfeuchte-Sensor SM150“ erfasst. Das Gerät arbeitet nach dem FDR (Frequency Domain Reflectory)-Prinzip.

Bei dem NDVI-Wert handelt es sich um den „Normalized Difference Vegetation Index“. Dies ist ein Parameter, mit dem die Vitalität einer Pflanze abgeschätzt werden kann. Dieser Index beruht auf der Tatsache, dass gesunde Vegetation im roten Bereich (R) des sichtbaren Spektralbereichs (Wellenlänge von etwa 600 bis 700 nm) relativ wenig und im darauffolgenden nahen Infrarot-Bereich (NIR) (Wellenlänge von etwa 700 bis 1.300 nm) relativ viel Strahlung reflektiert. Je gesünder eine Pflanze ist, desto höher ist die Reflexion im nahen Infrarotbereich. Der NDVI wird durch folgende Gleichung berechnet: $(NIR - R) / (NIR + R)$, wobei R der Reflexionsgrad im roten Bereich und NIR der Reflexionsgrad im nahen Infrarotbereich ist (Abbildung 5).

Zur Messung des NDVI wurde ein tragbares Spektroradiometer der Firma Trimble (GreenSeeker handheld crop sensor) verwendet. Zwischen dem Sensor und den Versuchspartellen wurde in einem konstanten Abstand von 50 cm senkrecht zur Rasennarbe gemessen.

Über die Daten zum Deckungsgrad nach DIN EN 12231 und die kamera-technische Auswertung mit dem Sigma Scan Verfahren (FLACHMANN, 2017) wird in der Originalarbeit berichtet.

Das allgemeine Erscheinungsbild (Rasenqualität) wurde als „Aspekt“ nach

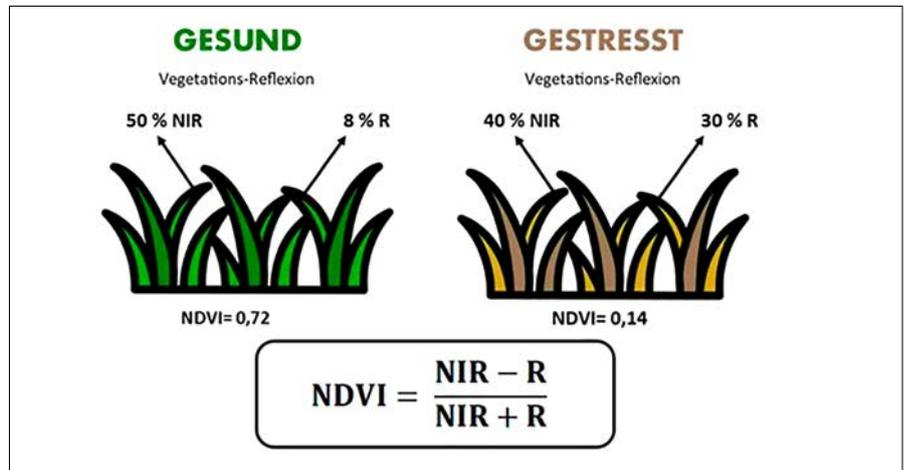


Abb. 5: Schematische Darstellung des Reflexionsverhaltens von gesunder und gestresster Rasennarbe. (Grafik: S. Nitzschke)

den Vorgaben des Bundessortenamtes (BSA, 2017) visuell bonitiert.

Nach einem Zeitraum von drei Wochen hatten die Parzellen der Arten *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* den Grenzwert an Trockenschäden erreicht, für die übrigen Varianten wurde die Trockenperiode um drei Tage bis zum 20.04.2020 verlängert.

Phase der Rasen-Regeneration

Die Regenerationsphase begann mit der Wiederbewässerung der ausgetrockneten Versuchspartellen. Die Wassermenge belief sich auf 20 Liter pro m².

In der Regenerationsphase wurden die Parameter Deckungsgrad und NDVI, sowie Aspekt mittels Bonitur erhoben. Häufigkeit und Ablauf der Messungen erfolgten analog zur Trockenperiode.

Durch die Bewässerung stellte sich auch ein Wachstum der Rasengräser ein, so dass mit dem Mähen eine konstante Schnitthöhe eingestellt wurde.

Ergebnisse

Etablierungsphase

Die unterschiedliche Entwicklung in der Etablierungsphase wird in der Abbildung 6 mit dem Zwischenstand nach vierzehn Tagen dargestellt. In der Grafik wird deutlich, dass *Poa pratensis* eine verzögerte Entwicklung gegenüber *Lolium perenne* und den Mischungen RSM 2.2.2 und 2.3 aufweist.

NDVI in Trockenperiode

Das Startniveau der Arten und Mischungen lag zwischen 0,77 für den RSM-Typ 2.2.1 und einem Wert von 0,71 für *Lolium perenne*. Mit fortschreitender Trockenheit

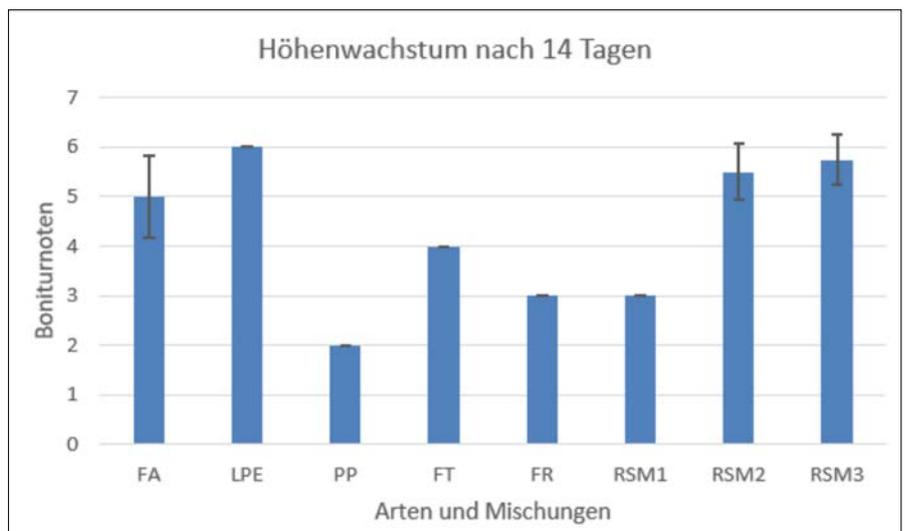


Abb. 6: Mittelwerte der Bonitur-Noten des Wachstumsfortschritts. Die Balken kennzeichnen die Mittelwerte, Fehlerbalken die Standardabweichung. FA = *Festuca arundinacea*, FR = *Festuca rubra*, FT = *Festuca trachyphylla*, LPE = *Lolium perenne*, PP = *Poa pratensis*, RSM1= RSM 2.2.1, RSM2= RSM 2.2.2, RSM 3= RSM 2.3.

sank der NDVI kontinuierlich ab. Bei den Mischungen steigt der Wert nach sechs Tagen ohne Bewässerung noch einmal kurzfristig an, nachdem er zunächst gesunken ist. Der NDVI für *Poa pratensis*

steigt zunächst leicht an und verhardt sechs Tage auf einem höheren Niveau als zu Beginn der Trockenphase. Nach zehn Tagen verringert sich der NDVI bei allen geprüften Arten (Abbildung 7).

Mit der sechsten NDVI-Messung wurde die Trockenperiode abgeschlossen. Die erreichten NDVI-Werte liegen zwischen 0,42 und 0,5. Eine Übersicht liefert Tabelle 2.

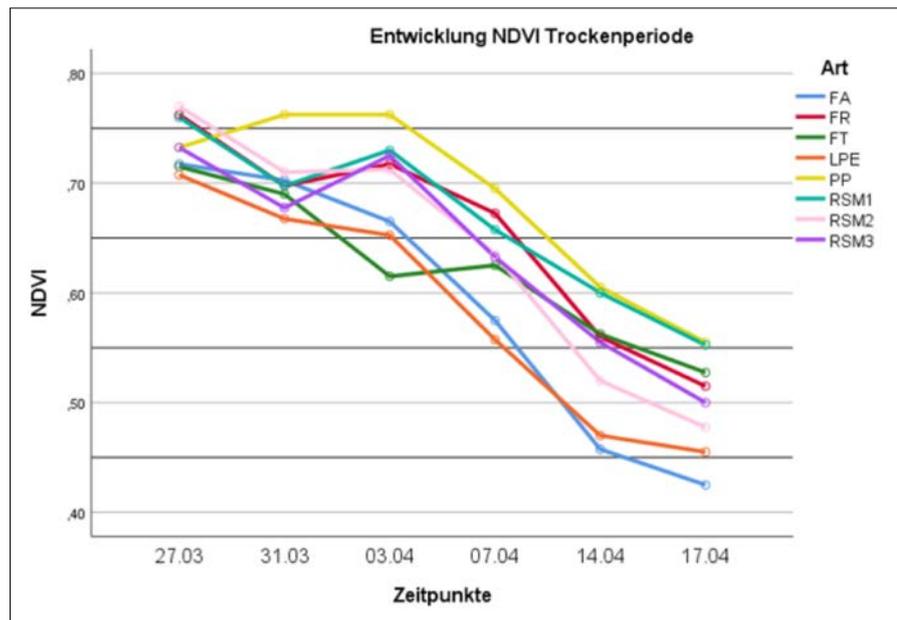


Abb. 7: Mittlere NDVI-Werte der Einzelarten und Mischungen zu sechs Zeitpunkten. FA = *Festuca arundinacea*, FR = *Festuca rubra*, FT = *Festuca trachyphylla*, LPE = *Lolium perenne*, PP = *Poa pratensis*, RSM1= RSM 2.2.1, RSM2= RSM 2.2.2, RSM 3= RSM 2.3.

Die mittleren NDVI-Werte wurden in Tabelle 3 zusammengefasst. Die statistische Überprüfung ergab, dass sich die Art *Poa pratensis* sowohl von *Festuca arundinacea*, als auch von *Lolium perenne* in der Entwicklung des NDVI-Wertes während der Trockenperiode signifikant unterscheidet. Zwischen *Lolium perenne* und *Festuca arundinacea*, sowie *Festuca trachyphylla* und *Festuca rubra* konnten keine ausschlaggebenden Unterschiede festgestellt werden. Die Saatgutmischungen zeigten untereinander ebenfalls keine großen Abweichungen. Die RSM 2.2.1 grenzte sich aber von *Festuca arundinacea* und *Lolium perenne* ab.

Aspekt in Trockenperiode

Die Entwicklung des Merkmals Rasenaspekt zeigt im Verlauf der Prüfung eine deutliche Verschlechterung der Bonitur-Noten, ähnlich der Farbbonitur.

Art	Länge Trockenperiode in Tagen	NDVI zum Ende der Trockenperiode
<i>Festuca arundinacea</i>	21	0,42
<i>Lolium perenne</i>	21	0,45
<i>Festuca rubra</i>	24	0,48
<i>Festuca trachyphylla</i>	24	0,47
<i>Poa pratensis</i>	24	0,49
RSM 2.2.1	24	0,50
RSM 2.2.2	24	0,42
RSM 2.3	24	0,45

Tab. 2: Übersicht der NDVI-Werte zum Ende der unterschiedlich langen Trockenperioden.

Zu allen Messzeitpunkten wurden Unterschiede zwischen den Arten festgestellt (Abbildung 8).

Am letzten Tag der Bonituren zeigte *Festuca trachyphylla* deutliche Abweichungen sowohl zu *Lolium perenne*, als auch zu *Festuca arundinacea*. Beide Arten zeigten am Ende die schlechtesten Noten im Vergleich zu *Festuca trachyphylla*.

Das Deutsche Weidelgras wies über den gesamten Zeitraum den niedrigsten Notenschnitt auf. Lediglich der RSM-Typ 2.2.1 und *Poa pratensis* zeigten erst zum dritten Messzeitpunkt eine Abnahme des Rasenaspekts.

NDVI in Regenerationsphase

Der Verlauf der NDVI-Werte während der Regenerationsphase ist in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt.

Für die beiden Varianten FA und bei LPE zeigt sich nach der Wiederbewässerung ein stetiger Anstieg des NDVI-Wertes.

Bei den übrigen Varianten konnte zu Beginn der Regenerationsphase zunächst eine Verschlechterung der NDVI-Werte beobachtet werden (Abbildung 10). Besonders drastisch war der Abfall bei *Festuca rubra*.

Art	FA	FR	FT	LPE	PP	RSM1	RSM2	RSM3
Mittelwert	0,590	0,654	0,622	0,585	0,685	0,666	0,638	0,637
FA		-0,0638	-0,0321	0,0054	-0,0950	-0,0758	-0,0471	-0,0467
FR	0,0638		0,0317	0,0692	-0,0313	-0,0121	0,0167	0,0171
FT	0,0321	-0,0317		0,0375	-0,0629	-0,0438	-0,0150	-0,0146
LPE	-0,0054	-0,0692	-0,0375		-0,1004	-0,0813	-0,0525	-0,0521
PP	0,095	0,0313	0,0629	0,1004		0,0192	0,0479	0,0483
RSM1	0,0758	0,0121	0,0438	0,0813	-0,0192		0,0288	0,0292
RSM2	0,0471	-0,0167	0,0150	0,0525	-0,0479	-0,0288		0,0004
RSM3	0,0467	-0,0171	0,0146	0,0521	-0,0483	-0,0292	-0,0004	

Tab. 3: Mittlere NDVI-Werte während der Trockenperiode. Signifikante Unterschiede sind fett gedruckt (Tukey HSD post-hoc-Test, p<0,05). FA = *Festuca arundinacea*, FR = *Festuca rubra*, FT = *Festuca trachyphylla*, LPE = *Lolium perenne*, PP = *Poa pratensis*, RSM1= RSM 2.2.1, RSM2= RSM 2.2.2, RSM 3= RSM 2.3.

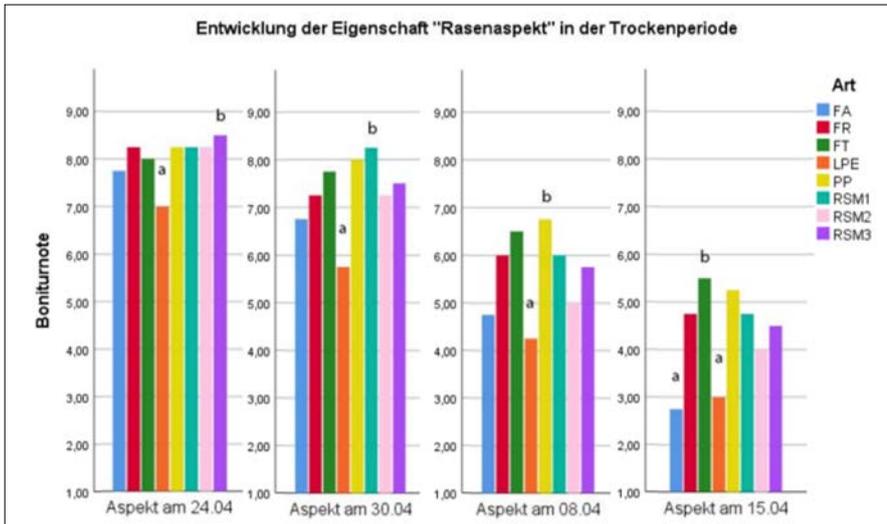


Abb. 8: Mittlere Bonitur-Noten der Einzelarten und Mischungen zu vier Zeitpunkten. FA = *Festuca arundinacea*, FR = *Festuca rubra*, FT = *Festuca trachyphylla*, LPE = *Lolium perenne*, PP = *Poa pratensis*, RSM1= RSM 2.2.1, RSM2= RSM 2.2.2, RSM 3= RSM 2.3. Balken kennzeichnen die Mittelwerte, unterschiedliche Buchstaben signifikante Unterschiede zu den Zeitpunkten (Post-Hoc-Test, Bonferroni-Korrektur, $p < 0,05$).

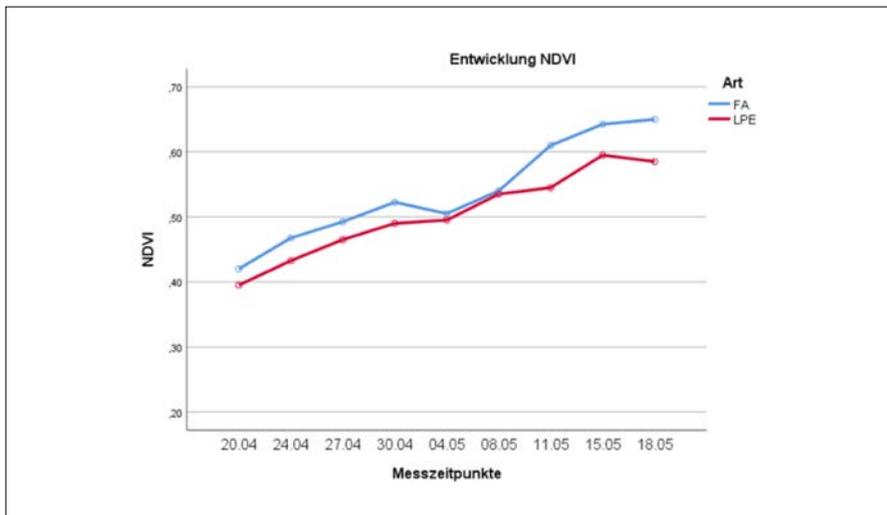


Abb. 9: Mittlere NDVI-Werte von zwei Einzelarten zu neun Zeitpunkten. FA = *Festuca arundinacea*, LPE = *Lolium perenne*.

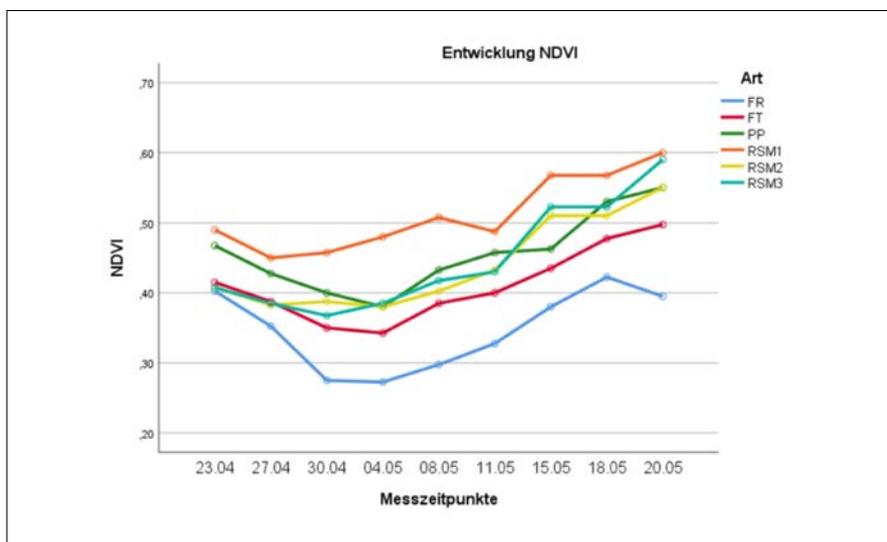


Abb. 10: Mittlere NDVI-Werte der Einzelarten und Mischungen zu neun Zeitpunkten. FR = *Festuca rubra*, FT = *Festuca trachyphylla*, PP = *Poa pratensis*, RSM1 = RSM 2.2.1, RSM2 = RSM 2.2.2, RSM 3 = RSM 2.3.

Erst nach etwa vierzehn Tagen erfolgte ein Anstieg der Werte. Diese erreichten jedoch im Untersuchungszeitraum nicht das Ausgangsniveau zu Beginn der Trockenperiode.

Wie im grafischen Verlauf schon angedeutet, bestätigen sich die Unterschiede im Regenerationsverlauf von *Festuca rubra* gegenüber *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*, sowie der RSM Mischung 2.2.1 auch statistisch (Tabelle 4).

Des Weiteren unterscheidet sich die Entwicklung der NDVI-Werte von *Festuca arundinacea* und *Festuca trachyphylla* voneinander.

Aspekt in Regenerationsphase

Zu Beginn der Regenerationsphase zeigten sich im Verlauf zwar Unterschiede bei den einzelnen Arten, diese können jedoch statistisch nicht bestätigt werden (Abbildung 11). Erst in der zweiten Beobachtungshälfte traten deutlichere Unterschiede auf, gerade für den Rohrschwengel und das Deutsche Weidelgras im Vergleich zum Rotschwengel.

Diskussion

Zu Beginn des Versuchs zeigte sich, dass die Etablierung der Gräser deutlich variierte. *Poa pratensis* wies die langsamste Entwicklung auf, sowohl im Auflaufen der Saatkörner als auch bei der Narbenbildung. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen frühere Studien, wonach Wiesenrispe im Vergleich zu Rotschwengel und insbesondere zum Deutschen Weidelgras einen geringeren und langsameren Aufwuchs (SKIRDE, 1967; POMMER, 1972) sowie eine langsame Keimentwicklung aufweist (ARNOTT and JONES, 1970; HENDERLOG, 1971).

Die eigenen Untersuchungen haben bestätigt, dass sich die Qualität des Rasens mit zunehmendem Trockenstress verschlechterte, andererseits konnte durch Wiederbewässerung das Regenerationsvermögen der Gräser stimuliert werden. Das Ausmaß der Veränderungen variierte deutlich zwischen den Untersuchungsvarianten.

Die Trockentoleranz von *Festuca arundinacea* wurde in vielen Studien als sehr gut beschrieben. Die Autoren machten dafür das tiefe und ausgedehnte Wurzelsystem verantwortlich (HUANG und GAO, 2000). Die Ansätze für ein schnelles und ausgedehntes Wurzelwachstum konnten auch in diesem Versuch bestätigt werden (Ergebnisse in

Originalarbeit). Die Wurzellänge war in allen drei Messzeitpunkten signifikant höher gegenüber PP, LPE und FT. Auch in der finalen Abschätzung der Wurzelverteilung zeigte FA die besten Ergebnisse (Daten s. Originalarbeit).

Eine Begründung für das schlechte Abschneiden von *Festuca arundinacea* bei den ermittelten Messwerten liegt vermutlich in der Kombination der eingeschränkten Wurzelverteilung (Versuchskiste mit 17 cm Tiefe) und den höheren Wasserverbrauchsraten für den Rohr-Schwengel.

Die Rasenmischungen zeigten mittlere bis gute Ergebnisse während der Trockenperiode. Besonders der Typ RSM 2.2.1 verdeutlichte ein langsames Absinken des Vitalparameters NDVI und des Deckungsgrades. Das gute Abschneiden der RSM 2.2.1 lässt sich aus der Artenzusammensetzung mit *Poa pratensis*, *Festuca rubra* und *Festuca trachyphylla* ableiten. Die Mischungen mit Deutschem Weidelgras, Rohr-Schwengel und Rotschwengel vermittelten in diesem Versuch eher eine schlechte Trockentoleranz.

Die Mischungen profitieren von der Kombination der unterschiedlichen Gräser, wobei die Ergebnisse in der Monokultur abweichend sein können.

Während der abschließenden Regenerationsphase präsentierten sich die Arten *Lolium perenne* und *Festuca arundinacea* bereits nach sieben Tagen mit einer Verbesserung des NDVI-Wertes und des Deckungsgrades.

Im Vergleich hierzu benötigen die übrigen Arten und Mischungen etwa sieben bis vierzehn Tage, bis eine Verbesserung der Vitalitätswerte einsetzt (Abbildung 12).

Ausblick

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen haben veranschaulicht, dass für den Bereich der Regenerationsfähigkeit von Gräsern nach Trockenstress ein weiterer Forschungsbedarf besteht. Das Ausmaß von Zellschädigungen und die daraus resultierende Beeinträchtigung der Stoffwechselfvorgänge sind noch nicht hinreichend dokumentiert.

Im Hinblick auf die Beurteilung der Trockentoleranz von Gräsern sollte zukünftig dem Regenerationsvermögen eine größere Bedeutung eingeräumt werden.

Art	FA	FR	FT	LPE	PP	RSM1	RSM2	RSM3
Mittelwert	0,566	0,332	0,397	0,530	0,441	0,502	0,429	0,433
FA		0,2336	0,1693	0,0361	0,1246	0,0636	0,1368	0,1332
0,566								
FR	-0,2336		-0,0643	-0,1975	-0,1089	-0,1700	-0,0968	-0,1004
0,332								
FT	-0,1693	0,0643		-0,1332	-0,0446	-0,1057	-0,0325	-0,0361
0,397								
LPE	-0,0361	0,1975	0,1332		0,0886	0,0275	0,1007	0,0971
0,530								
PP	-0,1246	0,1089	0,0446	-0,0886		-0,0611	0,0121	0,0086
0,441								
RSM1	-0,0636	0,1700	0,1057	-0,0275	0,0611		0,0732	0,0696
0,502								
RSM2	-0,1368	0,0968	0,0325	-0,1007	-0,0121	-0,0732		-0,0036
0,429								
RSM3	-0,1332	0,1004	0,0361	-0,0971	-0,0086	-0,0696	0,0036	
0,433								

Tab. 4: Mittlere NDVI-Werte während der Regenerationsperiode. Signifikante Unterschiede sind fett gedruckt (Tukey HSD post-hoc-Test, $p < 0,05$).

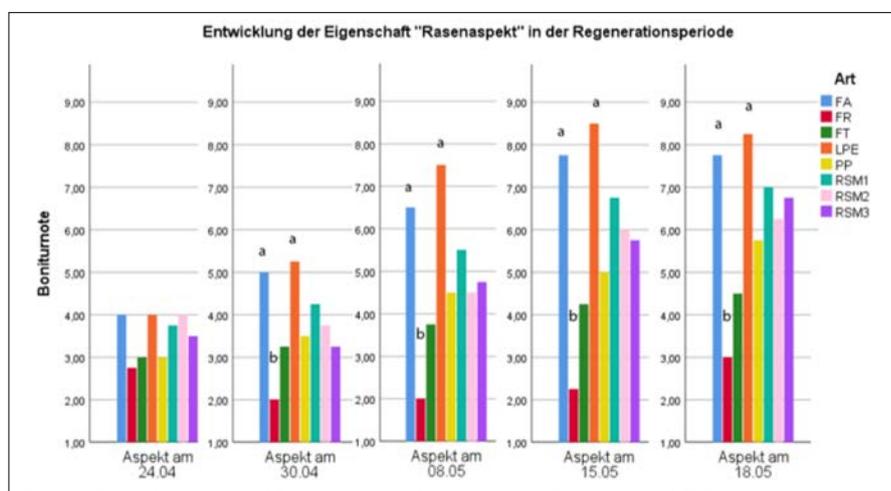


Abb. 11: Mittlere Bonitur-Noten für Rasenaspekt der Einzelarten und Mischungen zu fünf Zeitpunkten. FA = *Festuca arundinacea*, FR = *Festuca rubra*, FT = *Festuca trachyphylla*, LPE = *Lolium perenne*, PP = *Poa pratensis*, RSM1 = RSM 2.2.1, RSM2 = RSM 2.2.2, RSM 3 = RSM 2.3. Balken kennzeichnen die Mittelwerte, unterschiedliche Buchstaben signifikante Unterschiede zu den Zeitpunkten (Post-Hoc-Test, Bonferroni-Korrektur, $p < 0,05$).

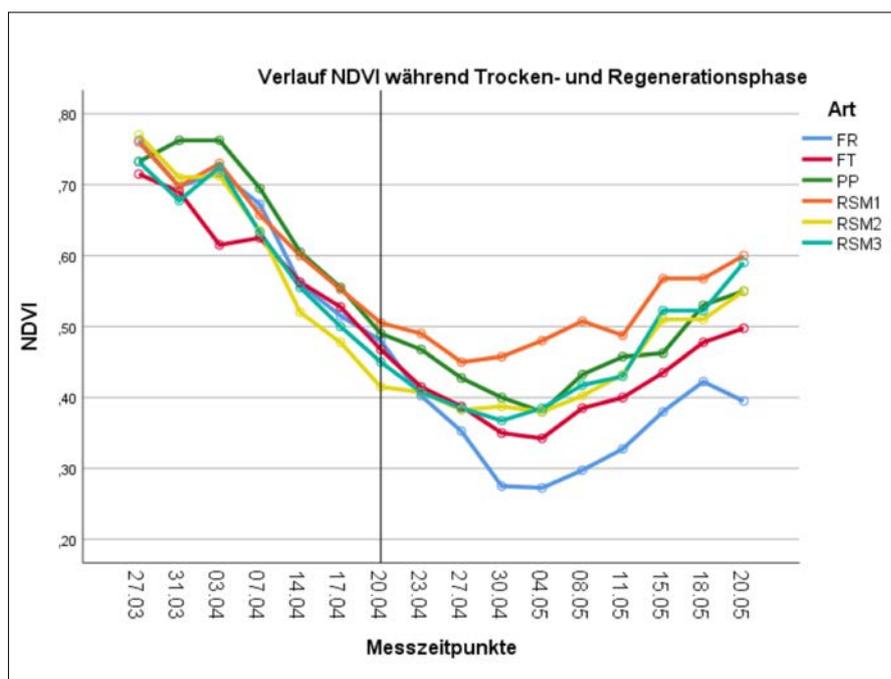


Abb. 12: Mittlere NDVI-Werte von Einzelarten und Mischungen an 16 Terminen über den gesamten Versuchszeitraum. Der 20.04. markiert den Start der Regenerationsphase.

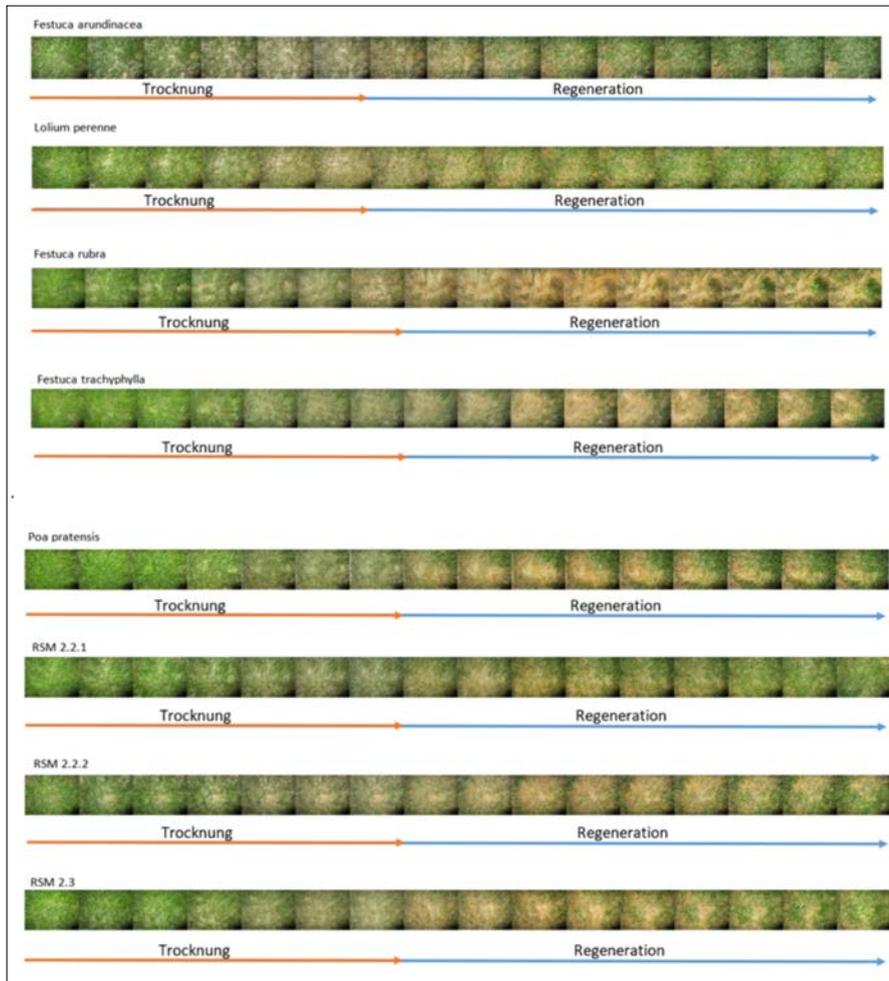


Abb. 13: Visuelle Entwicklung der Gräserarten und Mischungen über die gesamte Versuchsdauer vom Start über Trockenstress bis Regenerationsphase.

In Studien von BURGESS (2011) und CHAPMAN (2019) werden positive Ergebnisse bei der Anwendung von Cytokinin und Gibberellinsäure sowie deren Kombination berichtet.

Literatur

- ARNOTT, R. A and L. JONES, 1970.: Development and morphology of seedling grasses. In: Annual Report 1970, S. 147–157.
- BAHRANI, M. J., BAHRAMI, H. und A. A. K. HAGHIGHI, 2010: Effect of water stress on ten forage grasses native or introduced to Iran. In: Grassland Science 56 (1), S. 1–5.
- BEIERKUHNLIN, C., THIEL, D., JENTSCH, A., WILLNE, E. und J. KREYLING, 2011: Ecotypes of European grass species respond differently to warming and extreme drought. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01809.x>
- BEYEL, V., 2003: Wirkung von Trockenstress auf unterschiedliche Kultivare von Sorghum bicolor. Johann Wolfgang Goethe Universität Frankfurt.
- BSA, 2017: Bundessortenamt, Richtlinie für die Anbauprüfung von Rasengräsern. www.bundessortenamt.de/bsa/media/Files/Rasen/Richtlinie_Rasen.pdf
- BURGESS, P.W., 2011: Effects of Plant Growth Regulators and Osmoregulants on Drought Tolerance and Post-Drought Recovery in Creeping Bentgrass. Rutgers State University of New Jersey, New Brunswick. Department of Plant Biology and Pathology.
- CHAPMAN, C., 2019: Hormone Regulation of Tiller and Stolon Regrowth following Drought Stress in Creeping Bentgrass. Rutgers University.
- EBDON, J.S. and A.M. PETROVIC, 1998: Morphological and Growth Characteristic of Low- and High-Water Use Kentucky Bluegrass Cultivars. <https://doi.org/10.2135/croplsci1998.0011183X003800010024x>

FLACHMANN, 2017.

FLL, 2019: Regel-Saatgut-Mischungen Rasen, RSM 2019. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.

HENDERLONG, P. R., 1971: Effect of temperature on the germination and seedling development of turfgrasses. In: Turf and Landscape Research, S. 31–38.

HUANG, B. and H. GAO, 2000: Root Physiological Characteristics Associated with Drought Resistance in Tall Fescue Cultivars. Crop Science, 40(1), 196–203.

HUANG, B., 2008: Mechanisms and Strategies for Improving Drought Resistance in Turfgrass. In: Water quality and quantity issues for turfgrass in urban Acta Horticulturae (783), S. 221.

LARCHER, W., 2001: Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt ; 77 Tabellen, 8 Boxen: Ulmer Verl.

NITZSCHKE, S., 2020: Ausprägung von Trockenstress an Gebrauchsrasenmischungen und Einzelsorten sowie Abschätzung der Regenerationspotentiale. Masterarbeit Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Management im im Landschaftsbau (unveröffentlicht).

POMMER, 1972: Art- und sortenbedingte Variation von Rasengräsern. Rasen Turf Gazon 3, S. 89–93.

RUCAMUMIHIGO, F.X., 2018: Chemical priming and plant growth regulator effects on drought resistance characteristics of creeping bentgrass. Master Thesis, Michigan State University.

SKIRDE, W., 1967: Ergebnisse eines Versuches mit verschiedenen Saatmengen und Saatzeiten von Rasengräsern. Rasen und Rasengräser, S. 28–44.

Autoren:

Sophie Nitzschke, M. Eng.
Reuter GalaBau GmbH
s.nitzschke@reuter-gartenlandschaft.de

Dr. Klaus G. Müller-Beck
Ehrenmitglied
Deutsche Rasengesellschaft e.V.
48291 Telgte
klaus.mueller-beck@t-online.de

Prof. Dr. Wolfgang Prämaßing
Hochschule Osnabrück
„Nachhaltiges Rasenmanagement“
w.praemassing@hs-osnabrueck.de