

Anpassung der Pflanzen an die Trockenheit

Durch den Klimawandel häufen sich die Trockenperioden in unseren Gegenden. Um die Futterproduktion an diese Gegebenheiten anzupassen, muss der Wasserhaushalt der Pflanze verstanden sein. Dieser Artikel greift einige pflanzenphysiologische Grundlagen auf, um die Zusammenhänge zwischen Wasserhaushalt und Präriearten zu verdeutlichen.

Unsicheres Klima

Die extreme Sommertrockenheit im Jahr 2018 ist für Belgien historisch. Als Folge des Klimawandels verändert sich auch die jährliche Niederschlagsverteilung, weshalb künftig in Nord-Europa verstärkt mit diesen Sommertrockenheiten zu rechnen ist. Die abnehmenden Niederschläge im Spätfrühjahr und im Sommer, sowie die erhöhten Tagestemperaturen führen zu geringeren Futtererträgen. Um auch künftig ein gutes Ertragsniveau zu sichern, muss die Futterproduktion besser an die Sommertrockenheit angepasst werden. Deshalb ist es wichtig, dass die physiologischen Abläufe in den Grünlandpflanzen als Reaktion auf Wassermangel verstanden sind.

Pflanzenphysiologische Grundlagen

Um die verschiedenen Adaptationsmechanismen der Pflanzen an die Trockenperioden zu verstehen, müssen die Grundlagen des Wasserhaushaltes einer Pflanze gewusst sein. Obschon die Grünlandpflanzen einen hohen Wasserbedarf haben (Durand et al., 2013), unterscheiden sie sich physiologisch kaum von anderen Pflanzen. Allgemein veratmen die Pflanzen rund 97% des aufgenommenen Wassers (Taiz et al., 2010). Diese sogenannte Transpiration ist wichtig. Dadurch kann die Pflanze ihre Temperatur regulieren und eine Überhitzung vermeiden, welche den Stoffwechsel beeinflussen könnte (Lemaire, 2008). Bei den Pflanzen erfolgt die Transpiration über die Blätter. Die Sonnenstrahlen wirken auf die Blattoberfläche, wodurch das Wasser in den Blättern verdunstet. Der Wasserdunst tritt in den Blättern über die Stomata (kleine Öffnungen an der Blattaußenseite) aus. Diese, hauptsächlich auf der Blattunterseite angeordneten, Stomata sind ein wichtiger Ort für den Austausch zwischen Pflanze und Atmosphäre. Neben dem Ablassen von Wasserdunst ermöglichen sie auch die Aufnahme des für die Photosynthese erforderlichen Kohlendioxids.

Neben der Thermoregulation, dient die Transpiration auch dem Transport des Wassers durch die Pflanze (Durand et al., 2007). Unter normalen Umständen nehmen die Pflanzen ununterbrochen Wasser aus dem Boden über die Wurzeln auf, um so die Transpirationsverluste zu kompensieren. Der Boden ist ein sehr komplexes Milieu, welches aus verschiedenen Bodenpartikeln besteht. Das Wasser im Boden haftet sich wie ein dünner Film um diese Bodenpartikel. Damit Pflanzen möglichst viel Wasser aufnehmen können, muss die Pflanze die Kontaktfläche zwischen ihren Wurzeln und den Bodenpartikeln maximieren. Aus diesem Grund besteht das Wurzelsystem normalerweise aus einer Vielzahl von Verzweigungen. Darüber hinaus besteht die Oberfläche der Wurzeln aus zahlreichen kleinen Mikrofilamenten (Auswuchs von Epidermiszellen), welche das Wasser

aus den kleinsten Bodenporen saugen (Taiz et al., 2010). Das aufgenommene Wasser fließt nun über verschiedene zelluläre Bahnen vom Wurzelende zur Wurzelmitte. Diese Region in der Mitte der Wurzel enthält das Xylem. Das Xylem besteht aus länglichen toten Zellen, die so angeordnet sind, dass sie Kanäle formen, durch die Wasser von den unterirdischen zu den oberirdischen Pflanzenteilen fließt. Es bildet bei den Pflanzen ein sogenanntes Gefäßsystem, das die Wasserversorgung verschiedener Organe ermöglicht. Dank dieses Mechanismus kann eine Pflanze ihren Wassergehalt mehrfach täglich erneuern (Durand et al., 2007). Im Allgemeinen kann der Boden-Pflanzen-Atmosphäre-Komplex als ein Kontinuum betrachtet werden, durch welches das Wasser verschiedene Kompartimente der Biosphäre durchläuft.

Kurzfristige Reaktionen auf einen Wassermangel

Damit ihr Stoffwechsel unter optimalen Bedingungen funktionieren kann, müssen die Pflanzen die Absorptions-Transpirations-Bilanz größer als Null halten. Wenn die Bodenwasservorräte nachlassen, stellt die Aufrechterhaltung dieses Optimums jedoch eine echte Herausforderung für die Futterpflanzen dar. Auf Pflanzenebene wirkt sich die Trockenheit degradierend auf diese Bilanz aus (Durand et al., 2013). Pflanzen haben daher unterschiedliche Mechanismen entwickelt, um die Transpiration zu steuern und somit ihre Austrocknung zu begrenzen. Wenn der Wassermangel spürbar ist, besteht der erste Reflex der Pflanze darin, die Stomata teilweise zu schließen, um die Transpiration allmählich zu reduzieren. Dieser Prozess der stomatalen Regulation ist komplex und wird nur teilweise verstanden. Er scheint über verschiedene chemische Botenstoffe gesteuert zu sein, welche bei Wassermangel von verschiedenen Pflanzenteilen abgegeben werden.

Ist der Wassermangel nur von kurzer Dauer, hat dieser nur kleine Auswirkungen auf den Pflanzenstoffwechsel. Die Akzentuierung des Wasserdefizits kann jedoch dazu führen, dass fast alle Stomata vorübergehend geschlossen werden. Dadurch ist die Transpiration der Pflanze zwar beendet, jedoch kann die Pflanze die Temperatur auch nicht mehr regulieren. Ohne Wasserdampf bewirkt die Sonneneinstrahlung eine zu starke Erwärmung der Blattgewebe. Durch diesen Anstieg der Blattoberflächentemperatur funktionieren einige Enzyme nicht mehr richtig. Viele biochemische Reaktionen, die am Stoffwechsel der Pflanze beteiligt sind, werden gestoppt. Bei den Pflanzen, ist Wasserstress meist mit thermischem Stress verbunden (Itier et al. 2007). Das Verschließen der Stomata ist auch die häufigste Ursache für eine reduzierte Photosynthese (Durand et al., 2007). Bei geschlossener Stomata können die Pflanzen kein CO₂ assimilieren. Wenn die Photosynthese aufgrund eines Reagenzmangels ausfällt, ist die Pflanze nicht mehr in der Lage, den für ihr Wachstum

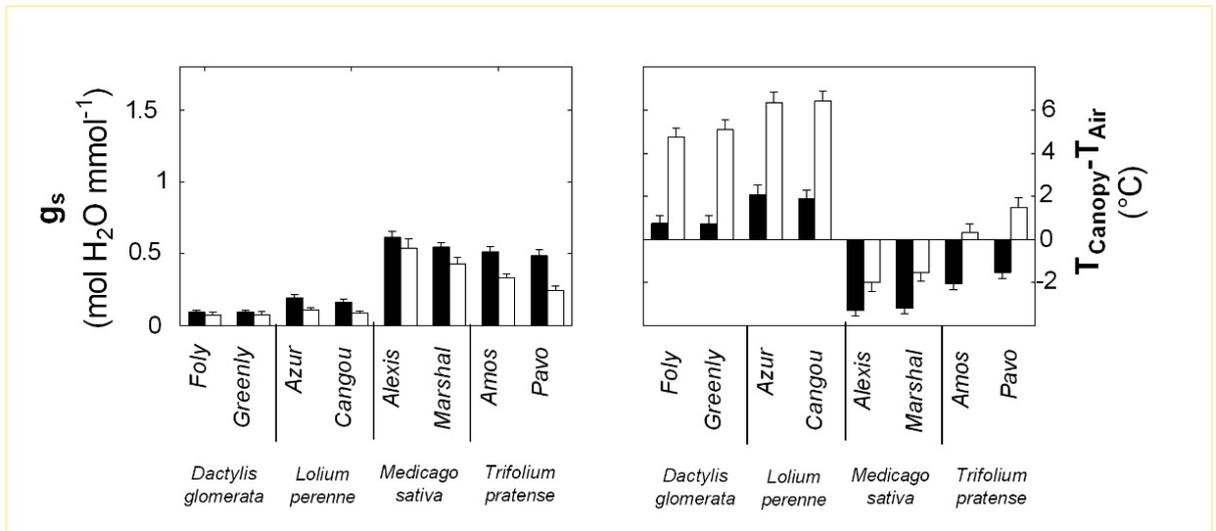


Abbildung 1: Die linke Grafik zeigt die stomatale Leitfähigkeit (gs) der verschiedenen Kulturen. Die rechte Grafik zeigt die Differenz der Blatttemperatur (T_{canopy}) und der Lufttemperatur (T_{air}) für dieselben Kulturen. Ein negativer Wert steht für eine niedrigere Blatttemperatur als Lufttemperatur. Ein positiver Wert steht für eine höhere Blatttemperatur als Lufttemperatur, also eine Erhitzung der Blattoberfläche. In Weiß sind die Kulturen, welche einem Wassermangel ausgesetzt waren, dargestellt; in schwarz, die Kulturen, welche in optimalen Wasserbedingungen gehalten wurden.

benötigten Zucker, zu produzieren. Es besteht also ein direkter Zusammenhang zwischen der Wasserversorgung der Pflanzen und einer Abnahme des Pflanzenwachstums (Lemaire, 2008).

In dieser Hinsicht, liefern die Ergebnisse des Projektes ForDrought interessante Einblicke. Tatsächlich zeigt dieses Forschungsprojekt, indem die physiologischen Mechanismen der Trockenheitstoleranz einiger Futterpflanzen untersucht worden sind, dass nicht alle Futterpflanzen identisch auf einen Wassermangel reagieren. Die nachstehenden Diagramme (Abb. 1) zeigen die Ergebnisse der stomatalen Leitfähigkeits- und Blatttemperaturmessungen an zwei unterschiedlichen Futterpflanzen, die üblicherweise für die Grünlandausaat in der Wallonischen Region verwendet werden. Diese Messungen wurden an Kulturpflanzen durchgeführt, die einem Wasserdefizit (in der Grafik in Weiß) ausgesetzt waren, aber auch in Kulturen, die unter idealen Wasserbedingungen gehalten wurden (in der Grafik in Schwarz). Ziel ist es, die beiden Behandlungen miteinander zu vergleichen, um die Auswirkungen von Wassermangel quantifizieren zu können. Laut diesen Versuchsdurchführungen können die Luzerne (cv Alexis und cv Marshal) und der Rotklee (cv Amos und cv Pavo) im Gegensatz zum Eng-

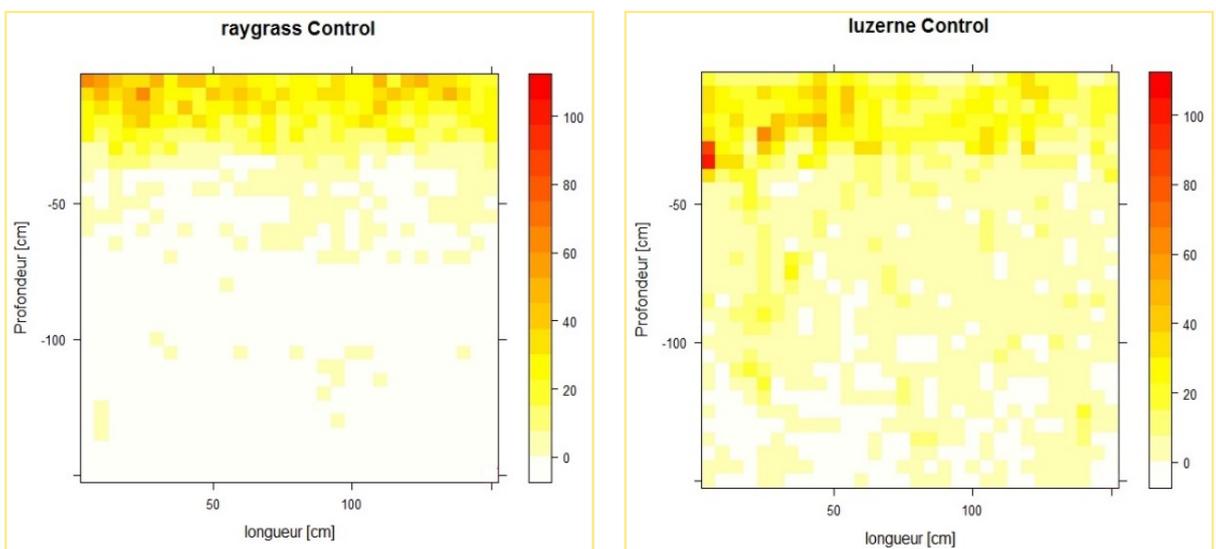
lischen Raygras (cv Cangou und cv Azur) und Knaulgras (cv Foly und cv Greenly) auch bei Wassermangel ihre Stomata teilweise offenhalten. Die geringere stomatale Leitfähigkeit dieser Gräser lässt vermuten, dass ihre Stomata teilweise geschlossen sind. Die Abnahme ihrer Transpiration führt folglich zu einer Erhöhung der Blatttemperatur ($T_{\text{canopy}} - T_{\text{air}} > 0$). Leguminosen sind in der Lage, ihre Blatttemperaturen unter der Lufttemperatur zu halten.

Langfristige Strategien

Es ist selbsterklärend, dass die Regulation der Stomata eine direkte Reaktion auf den Wassermangel ist. Bei anhaltendem Wasserdefizit werden jedoch auch bestimmte Futterpflanzen Vermeidungsstrategien verfolgen.

Die Verwurzelungstiefe ist vor allem ein morphologisches Merkmal. Bei einem Wassermangel kann dies jedoch als Vermeidungsstrategie betrachtet werden (Lemaire, 2008). Futterpflanzen mit langen Wurzeln ziehen Wasser aus tieferen Bodenschichten, wodurch sie ihre Wasserversorgung garantieren und das Risiko einer Deshydratation umgehen (Voltaire et al., 2015). Daher ist die

Abbildung 2: Ausbreitung der Wurzeln von Englischem Raygras (links) und Luzerne (rechts) auf einem Tiefenprofil von 1m50. Gemessen wurde auf dem Versuchsfeld vom Projekt ForDrought, welches in Corroy-le-Grand (Region Wallonien-Belgien) liegt. Die Farbskala gibt die Anzahl Wurzeln an, die in jedem Pixel vorhanden sind.



Beständigkeit gegen Wasserstress bei einigen Futterpflanzen sehr wahrscheinlich auf die Wurzeltiefe zurückzuführen. Diese Aussage kann in beide Richtungen überprüft werden. Die Luzerne, mit einer Wurzeltiefe bis zu 1m50, wächst auch bei Trockenheit (Abb. 2) weiterhin gut. Im Gegensatz dazu ist das Englische Raygras, dessen Wurzeln sich in der oberen Bodenschicht ausweiten, besonders empfindlich gegen Trockenheit.

Sobald die Wetterbedingungen wieder günstig sind, können bestimmte Arten ihr metabolisches Wachstum und ihre Stoffwechselaktivität schnell wieder aufnehmen. Die Widerstandsfähigkeit dieser Futterpflanzen kann auch als Vermeidungsstrategie bei Wassermangel angesehen werden. Die Wurzelanlage ist aber auch hier von zentraler Bedeutung. So reagieren Knautgräser mit hervorragendem Wachstum auf die ersten Niederschläge nach einer sommerlichen Trockenheit. Ihr sehr dichtes Wurzelsystem erlaubt den geringsten Wassertropfen zu nutzen.

Mehrere Konsequenzen ...

Trotz dieser unterschiedlichen Mechanismen und Strategien ist der Handlungsspielraum der Pflanzen angesichts des Wassermangels begrenzt. Auf Flächenebene sind die Folgen von Wassermangel vielfältig. Wie bereits erwähnt, wird das Wachstum verlangsamt oder gestoppt, wenn die Pflanze ihren Wasserbedarf nicht mehr decken kann. Die oberirdische Biomasse der Futterpflanze ist nicht mehr ausreichend entwickelt, was zu Ertragseinbußen führt. Das Ausmaß dieser Abnahme hängt dann von der Fähigkeit der Futterpflanzen ab, den Wassermangel zu tolerieren. Diese Beobachtung wurde bereits in den Ardennen gemacht, wo das Ertragspotenzial von Englischem Raygras (spät reif) – häufig in den Futtermischungen zu finden – nach einem Rückgang der Niederschläge seit rund zehn Jahren stetig abnimmt (Crémer *et al.* 2019). Obwohl die Studien zu diesem Thema unterschiedliche Ergebnisse zeigen, ist es wahrscheinlich, dass das Wasserdefizit auch den Nährwert des Futters beeinflusst (Durand, 2007). Während einer Trockenperiode kann der Qualitätsverlust zusammen mit dem Ertragsrückgang ein erhebliches Futterdefizit verursachen und somit die Futterautonomie der Betriebe beeinträchtigen. Wenn sich der Rückgang der sommerlichen Niederschläge bestätigt, müssen Anpassungen gefunden werden, um die Auswirkungen von Wassermangel zu begrenzen und zu umgehen. Das Wissen, das durch eine detaillierte Untersuchung der Ökophysiologie verschiedener Futterpflanzen gewonnen wird, wird sicherlich ein wesentliches Instrument für die Entwicklung einer klimatisch widerstandsfähigeren Futterproduktion sein wird.

Literaturverzeichnis

- Crémer S., Bernes A., Lambert R. (2019). Essai de comparaison variétale en ray-grass anglais tardifs sous régime de fauche en Ardenne - 2015-2018 - Résultats définitifs.
- Durand, J. L. (2007). Les effets du déficit hydrique sur la plante: aspects physiologiques. *Fourrages*, 190, 181-195.
- Durand, J. L., Lorgeou, J., Picon-Cochard, C., & Volaire, F. (2013). Ecophysiologie de la réponse et de l'adaptation des plantes fourragères et prairiales au changement climatique. *Fourrages* 214, 111-118(2013).
- Itier, B., & Seguin, B. (2007). La sécheresse: caractérisation et occurrence, en lien avec le climat et l'hydrologie. *Fourrages*, 190, 147-162.
- Lemaire, G. (2008). Sécheresse et production fourragère. *Innovations Agronomiques*, 2, 107-123.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2010). *Plant physiology and development*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Volaire, F., Ahmed, L. Q., Barre, P., Bourgoïn, T., Durand, J. L., Escobar-Gutiérrez, A., ... & Louarn, G. (2016). Quelle est la variabilité intra-et interspécifique des caractères d'adaptation des espèces prairiales pérennes aux variables du changement climatique? *Fourrages*, (225), 1-9.



Autoren/Kontakte:

Van der Verren Benjamin, Earth and Life Institute/ Environmental Sciences (ELI-e), Université catholique de Louvain, Belgique

Crémer Sébastien, Centre de Michamps ASBL, Belgique
sebastien.cremer@uclouvain.be

