Dikotyle Pflanzen für multifunktionales Grünland im Klimawandel: Eine Pilotstudie zu minoren und exotischen Arten

D. Thielecke[1], J. Isselstein[1,2], M. Komainda[1]
[1]Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abteilung Graslandwissenschaft, Georg-August-Universität Göttingen
[2]Zentrum für Biodiversität und nachhaltige Landnutzung
dietrun.thielecke@uni-goettingen.de

Einleitung und Problemstellung

Artenreiches Grünland erfüllt verschiedene Ökosystemleistungen (Bengtsson et al. 2019). Im Gemenge mit Leguminosen erhöhen dikotyle Nicht-Leguminosen die Stickstoffaufnahme aus dem Boden (Dhamala et al. 2016) und sind durch ihre tief reichenden Wurzeln widerstandsfähiger gegen Trockenheit (Hoekstra et al. 2015). Dikotyle Arten erhöhen zudem die Bereitstellung eines Blütenangebots für Bestäuber (Cong et al. 2020). Angesichts des fortschreitenden Klimawandels sind in Zukunft alternative trockenheits- und hitzetolerante Arten erforderlich, um die Funktionen des Grünlands und dessen Phytodiversität zu erhalten. Wir haben in einer Pilotstudie mehrere, bisher nicht weitläufig genutzte (minore) und „exotische“ dikotyle Arten untersucht, um spezifische Informationen über ihre Produktivität, Futterqualität und funktionellen Eigenschaften verfügbar zu machen, die bisher kaum vorhanden sind.

Material und Methoden

Zur Bewertung der Arten wurde ein Topfexperiment unter kontrollierten Bedingungen in einer Vegetationshalle über einen Zeitraum von 61 Tagen durchgeführt. Funktionelle Pflanzenmerkmale, Ertrag und Futterqualität von insgesamt 21 minoren dikotylen leguminosen und nicht-leguminosen Arten (ein bis drei verschiedene Herkünfte pro Art) wurden im randomisierten Blockdesign mit n=4 Wiederholungen untersucht. Der Versuch bestand aus Töpfen (Länge x Breite x Höhe = 10.5cm x 10.5cm x 11cm) mit je einer Pflanze, sodass keine Konkurrenz zwischen den Individuen bestand.
Als Substrat wurde eine Mischung aus Blumenerde und Sand (Verhältnis 3:4) verwendet. Das verwendete Bodensubstrat enthielt 3,0 g kg^{-1} Phosphor (Calcium-Acetat-Laktat-Extraktionsmethode (CAL)), 9,1 g kg^{-1} Kalium (CAL-Methode) und 3,7 g kg^{-1} Magnesium (CaCl2-Extraktion). Die Bewässerung erfolgte während der gesamten Studie manuell mit normalem Leitungswasser, basierend auf visueller Beurteilung, so dass der Boden stets feucht war. Unter den genutzten Arten befanden sich vier „Exoten“ z.B. aus dem Mediterranem Raum, die in Deutschland derzeit nicht etabliert sind. Alle Arten wurden basierend auf einer Literaturrecherche und eigenen Erfahrungen ausgewählt. Die Arten wurden funktionellen Pflanzengruppen zugeteilt. Die Pflanzen wurden in einem überdachten, offenen Gewächshaus mit natürlichem Licht, aber erhöhten Temperaturbedingungen angebaut. Temperaturmessungen erfolgten stündlich (iButtons, Thermochrom). Alle Pflanzen wurden am gleichen Tag ausgesät und hatten die gleiche Wachstumszeit. Es wurden keine Düngemittel, Herbizide oder Pestizide ausgebracht. Die Tageslänge während des Untersuchungszeitraums betrug stets >14 Stunden (Abbildung 1). Die Datenerhebung fand zwischen April und Juli 2022 statt. Messungen zur Erhebung funktioneller Pflanzenmerkmale erfolgten wöchentlich. Die Ernte erfolgte per Hand mit einer herkömmlichen Schere, wobei der oberirdische Aufwuchs in Höhe von 4cm zum Zeitpunkt der Blüte beerntet wurde. Es wurden stets alle vier Wiederholungen einer Art am selben Tag beerntet, wenn mindestens drei der vier Wiederholungen geblüht haben. Pflanzen, die das Blühstadium nicht erreichten, wurden nach 61 Tagen beerntet. Zur Ermittlung der Futterqualität wurden die Pflanzenproben laboranalytisch untersucht. Hierbei ist mittels ANKOM Fibre Tec (A200 Fiber Analyser) die NDF-Konzentration in der organischen Masse bestimmt worden. Eine Unterprobe der Biomasse wurde verascht, um die Rohasche zu bestimmen. Die Bestimmung der Stickstoff(N)konzentration in der Gesamtpflanze erfolgte mittels Elementaranalyse. Durch Umrechnung (Nx6.25) wurde die Konzentration an Rohprotein (CP) ermittelt. Folgende weitere Zielwerte wurden ausgewertet: Trockenmasseertrag (TM), Blatt-Trockenmassegehalt (=LDMC „Leaf Dry Matter Content“) des jüngsten voll entwickelten Blattes (Harzé et al. 2016) und die Tage bis zur Blüte. Statistische Analysen wurden in R Version 4.2.1 (R Core Team 2022) durchgeführt, wobei eine Varianzanalyse (ANOVA) verwendet wurde, um den Einfluss des Faktors *Art* auf alle Zielvariablen zu testen. Die verschiedenen Herkünfte wurden als Wiederholungen der jeweiligen Art berücksichtigt. Als Zufallsgröße wurden Block und Topf herangezogen.

Folgende Arten mussten von der Qualitätsanalyse ausgeschlossen werden: *Achillea millefolium*, *Carum carvi, Cichorium intybus, Lotus pedunculatus, Medicago lupulina, Melissa officinalis, Pimpinella saxifraga, Sanguisorba minor, Thymus pulegioides* und *Trifolium tumens* (exotische Leguminose). Diese Arten wurden nicht für die statistische Auswertung genutzt. Alle anderen Arten sind in Tabelle 1 gezeigt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Temperatursumme im Gewächshaus war im Vergleich zur Umgebungstemperatur außerhalb der Vegetationshalle (Wetterstation Göttingen 2023) um 32% höher. Es wurden starke Temperaturschwankungen während des Experiments verzeichnet und durchschnittliche Tagestemperaturen bis zu 43°C gemessen (Abb. 1).

Der Einfluss des Faktors *Art* war bei allen betrachteten Zielgrößen hoch signifikant ($p < 0{,}001$). Insbesondere die exotischen Leguminosen (mit Ausnahme von *T. tumens*) zeigten unter den gegebenen Bedingungen eine gute Leistung. Die exotischen Leguminosen produzierten im Durchschnitt die höchste Biomasse mit im Mittel 2,7 g Topf^{-1}. Die minoren Leguminosen produzierten im Durchschnitt 22% weniger und die nicht-leguminosen Kräuter erreichten im Durchschnitt 29% weniger Biomasse als die Leguminosen. Die bessere Anpassung der exotischen Leguminosen an höhere Temperaturen verdeutlichen, dass diese in Zukunft vermehrt in Erwägung gezogen werden könnten (Europäische Umweltagentur 2012).

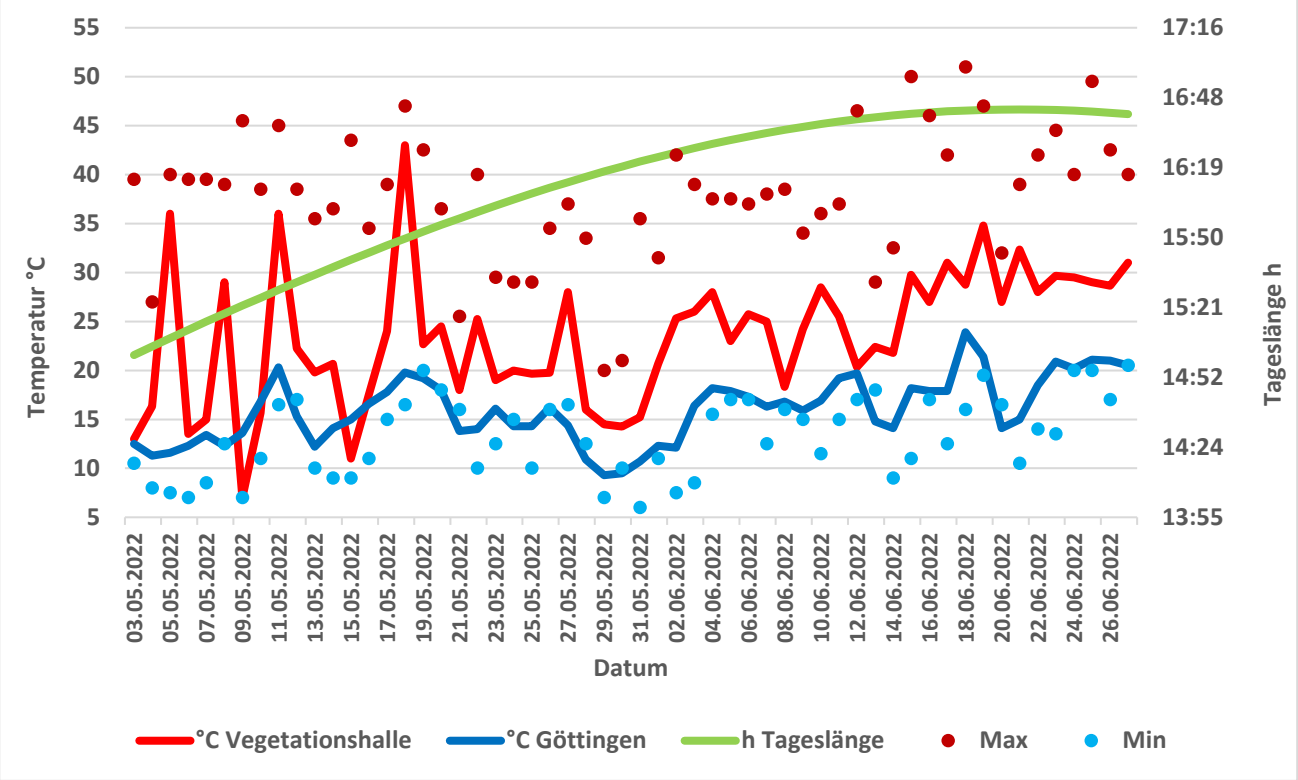

Abb. 1: Gemessene Temperatur und Tageslänge während des Experiments: Mittelwerte der Tagestemperatur pro Tag in der Vegetationshalle (rote Linie) und der Wetterstation Göttingen (blaue Linie), Tageslänge in Stunden (grüne Linie). Max = höchste absolute Tagestemperatur (rote Punkte), Min = niedrigste absolute Tagestemperatur (blaue Punkte) in der Vegetationshalle.

Im Gegensatz zu einem niedrigen LDMC impliziert ein hoher LDMC eine größere Widerstandsfähigkeit gegenüber physischem Stress (Guo et al. 2022). In unserer Studie erreichte *S. minor* den höchsten LDMC und *P. lanceolata* den niedrigsten. Die kürzeste Zeitdauer bis zur Blüte benötigten *P. lanceolata, P. anisum* und *T. michelianum*. Diese Arten können folglich frühzeitig im Jahr Blütenressourcen für Bestäuber bereitstellen. Um eine kontinuierliche Bereitstellung von Blüten über die gesamte Vegetationsperiode zu erreichen, sollten Arten mit einem breiten Spektrum an Tagen bis zur Blüte kombiniert werden, die bestenfalls komplementäre funktionale Merkmale beispielsweise im Ertrag, der Qualität oder der Trockenheitstoleranz aufweisen, um die Multifunktionalität von Grünland zu erhöhen (Blesh 2018). Hierfür sind *P. lanceolata, L. corniculatus*

und *T. michelianum* potentiell geeignete Partner (Tab. 1). Für die Futterbewertung für Wiederkäuer sollten spezifische Anforderungen erfüllt sein. In der vorliegenden Untersuchung erreichten die minoren Nicht-Leguminosen eine CP-Konzentration von 112,7 g kg^{-1} TM. Die minoren Leguminosen erreichten einen Durchschnittswert von 130 g kg^{-1} TM und die exotischen Leguminosen von 106,7 g kg^{-1} TM (Tab. 1). Hochleistende Milchkühe benötigen mindestens 140 g CP kg^{-1} TM in ihrer Ration (Kalscheur et al. 1999). Diese Anforderungen werden von *L. corniculatus, P. lanceolata* und *T. michelianum* zum Zeitpunkt der Blüte erfüllt (Tab. 1). Die Vergleichsbasis beruht auf den Erträgen zum Zeitpunkt der Blüte. Der Zeitpunkt der Blüte variierte aufgrund der unterschiedlichen phänologischen Entwicklungsgeschwindigkeit der Arten. Die NDF-Konzentrationen waren im Allgemeinen niedrig, obwohl die Ernte um die Blüte herum stattfand, was den Futterwert der dikotylen Arten unterstreicht.

Tab. 1: Arithmetische Mittel und Standardfehler der Mittelwerte (in Klammern) für den Trockenmasseertrag (g TM $Topf^{-1}$), den LDMC (%), die Zeitdauer bis zur Blüte (Tage), die NDF-Konzentration (g kg^{-1} organische Substanz) und das Rohprotein (CP) (g kg^{-1} TM). k.B. bedeutet keine Blüte während des Versuchs.

Funktionale Gruppe	Pflanzenarten	TM	LDMC	Tage bis Blüte	NDF	CP
Minore Leguminosen	*Astragalus cicer* L.	3.6 (0.56)	27.3 (0.56)	59.5 (0.01)	322.0 (12.)	93.9 (4.8)
	Lotus corniculatus L.	2.7 (0.74)	26.5 (0.74)	42.3 (0.02)	368.8 (15.9)	150.2 (12.2)
	Trifolium ambiguum M. Bieb.	1.2 (0.22)	27.5 (0.22)	k.B.	358.8 (4.6)	94.2 (8.9)
	Trifolium subterraneum L.	2.4 (0.34)	30.8 (0.34)	38.0 (0.01)	371.5 (7.7)	117.8 (6)
Nicht-leguminose Kräuter	*Pimpinella anisum* L.	5.9 (1.70)	25.8 (1.7)	26.8 (0.02)	350.1 (8.3)	121.9 (10)
	Plantago lanceolata L.	2.4 (0.69)	19.2 (0.69)	21.6 (0.02)	381.5 (12.0)	175.0 (14.4)
	Rumex acetosa L.	1.2 (0.329	20.0 (0.32)	k.B.	353.7 (5.6)	103.1 (11.8)
	Sanguisorba officinalis L.	2.6 (0.75)	35.2 (0.75)	k.B.	356.5 (4.6)	104.1 (8.5)
Exotische Leguminosen	*Bituminaria bituminosa* (L.) C.H. Stirt	5.0 (0.90)	34.6 (0.9)	56.8 (0.02)	475.3 (20.1)	58.8 (4)
	Hedysarum coronarium L.	3.6 (0.58)	21.2 (0.58)	k.B.	325.7 (7.1)	89.2 (4.7)
	Trifolium michelianum Savi	1.7 (0.33)	21.3 (0.33)	26.9 (0.01)	377.3 (11.0)	172.1 (10.2)

P. lanceolata erweist sich als vielversprechende Art mit Blick auf die Multifunktionalität von Grünland. Diese Leistung geht einher mit einer Reduktion von Stickstoffverlusten im Produktionssystem (Pinxterhuis et al. 2024). Bislang fehlt in Deutschland eine offizielle Empfehlung zur Ansaat. Es sind auch bisher keine Sorten von *P. lanceolata* in der Bundessortenliste geführt.
B. bituminosa zeigte eine gute Produktivität bei hohem LDMC (Tab. 1). Diese Art könnte somit aufgrund von Wetterextremen, die in Zukunft vermehrt auftreten werden (Trnka et al. 2020), bei weiterhin steigenden Temperaturen (Deutscher Wetterdienst 2021) in Betracht gezogen werden. Dafür sind Tests zur Futterproduktion unter hiesigen Bedingungen notwendig.

Schlussfolgerungen

Unsere Pilotstudie verdeutlicht, dass die hier untersuchten Arten Potential für die Pflanzenzucht mit sich bringen und mit Blick auf den Klimawandel die Phytodiversität und Multifunktionalität von Grünland erhöhen können. Im feucht-gemäßigten Klima Deutschlands sind für die prognostizierten Temperaturerhöhungen und die vermehrt auftretenden Wetterextreme möglicherweise auch mediterrane Exoten erwägbar. Es bedarf in Zukunft Feldversuchen, um zu untersuchen, wie sich diese dikotylen Arten etablieren und nutzen lassen.

Diese Arbeit konnte mit Förderungen von EU Horizon 2020 (FKZ 101059626) und Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft, aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages, umgesetzt durch die Bundesanstalt Ernährung und Landwirtschaft (FKZ 281C702A21), bearbeitet werden.

Literatur

Bengtsson, J., Bullock, J.M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T., O'Farrell, P.J., Smith, H.G. & Lindborg R. (2019): Grasslands—more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere* 10(2):e02582.

Blesh, J. (2018): Functional traits in cover crop mixtures: Biological nitrogen fixation and multifunctionality. *Journal of Applied Ecology*, 55: 38-48.

Cong, W., Dupont, Y.L., Søegaard, K. & Eriksen, J. (2020): Optimizing yield and flower resources for pollinators in intensively managed multi-species grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 302: 107062.

Deutscher Wetterdienst (2021): Klimawandel - ein Überblick. Die Klimaentwicklung in Deutschland. Temperatur.
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimawandel_node.html#doc344940bodyText4.

Dhamala N.R., Rasmussen, J., Carlsson, G., Søegaard, K., Eriksen, J. (2016): N transfer in three-species grass-clover mixtures with chicory, ribwort plantain or caraway. *Plant and Soil*, 413: 217-230.

Europäische Umweltagentur (2012): Climate change: what do models predict for Europe? https://www.preventionweb.net/news/climate-change-what-do-models-predict-europe.

Guo, A., Zuo, X., Zhang, S., Hu, Y., Yue, P., Lv, P., Li, X., Zhao, S. & Yu, Q. (2022): Contrasting effects of plant inter- and intraspecific variation on community trait responses to nitrogen addition and drought in typical and meadow steppes. *BMC Plant Biology*, 22.

Harzé, M., Mahy, G. & Monty, A. (2016): Functional traits are more variable at the intra- than inter-population level: a study of four calcareous dry-grassland plant species. *Tuexenia*, 36: 321-336.

Hoekstra, N.J., Suter, M., Finn, J.A., Husse, S. & Lüscher A. (2015): Do belowground vertical niche differences between deep- and shallow-rooted species enhance resource uptake and drought resistance in grassland mixtures? *Plant and Soil*, 394: 21-34.

Kalscheur, K.F., Vandersall, J.H., Erdman, R.A., Kohn, R.A. & Russek-Cohen, E. (1999): Effects of dietary crude protein concentration and degradability on milk production responses of early, mid, and late lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(3): 545-554.

Pinxterhuis, J.B., Judson, H.G, Peterson, M.E., Navarrete, S., Minnée, E., Dodd, M.B. & Davis, S.R. (2024): Implementing plantain (*Plantago lanceolata)* to mitigate the impact of grazing ruminants on nitrogen losses to the environment: A review. *Grass and Forage Science,* 79: 144-157.

Trnka, M., Balek, J., Semenov, M.A., Semerádová, D., Bělínová, M., Hlavinka, P., Olesen, J. E., Eitzinger, J., Schaumberger, A., Zahradníček, P., Kopecký, D. & Žalud, Z. (2020): Future agroclimatic conditions and implications for European grasslands. *Biologia Plantarum*, 64: 865-880.

Wetterstation Göttingen (2023): Wetterarchiv 2020-2023, Monatsanalysen. https://www.wetterstation-goettingen.de/wetterarchiv-2020.html