

Phänologische Charakterisierung von Ökotypen des Deutschen Weidelgrases (*Lolium perenne* L.) in Schleswig-Holstein

I. Ullmann, A. Herrmann, F. Taube

Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Pflanzenbau und -züchtung,
Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau,
Hermann-Rodewald-Straße 9, D-24118 Kiel
iullmann@gfo.uni-kiel.de

1 Einleitung und Problemstellung

Der Beginn des Ährenschiebens gilt im Futterbau als optimaler Nutzungstermin aufgrund ausreichend hoher Erträge [9] bei gleichzeitig guter Futterqualität [8] und ist für die Sortenwahl von großer Bedeutung. Die Futterqualität wird zu diesem Zeitpunkt maßgeblich durch den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten gesteuert, der wiederum durch die Länge der kritischen Phase zwischen Schossbeginn und Beginn Ährenschieben beeinflusst wird. Die vorliegende Studie soll klären, ob eine phänotypische Variation in der Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung bei Einzelpflanzen des Deutschen Weidelgrases aus schleswig-holsteinischen Ökotypenpopulationen zu finden ist, die in einem zweiten Schritt als Selektionskriterium zur Steigerung der Futterqualität genutzt werden kann.

2 Material und Methoden

In den Jahren 2011 und 2012 (Tab. 1) wurde auf der mecklenburgischen Insel Poel (53° 59' N, 11° 28' E, alt. 5 m) ein nicht-wiederholter Feldversuch mit 300 Deutsch Weidelgras Genotypen angelegt. Die Einzelpflanzen repräsentierten acht verschiedene Ökotypenpopulationen, die im Frühjahr 2010 auf unterschiedlichen Dauergrünlandflächen in Schleswig-Holstein gesammelt wurden. Die Flächen waren durch ein hohes Narbenalter ohne Neu- und Nachsaat gekennzeichnet.

Tab. 1: Monatliche Durchschnittstemperaturen (°C) und Niederschlagsmengen (mm) in den Beobachtungszeiträumen der Versuchsjahre 2011 und 2012

Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Gesamtjahr
Temperatur in °C							
2011	1.2	0.5	3.8	10.8	13.4	16.6	9.7
2012	2.3	-0.6	6.3	7.6	13.0	14.8	9.1
Niederschlag in mm							
2011	34	34	13	19	29	137	724
2012	53	20	6	21	53	52	516

Zur Charakterisierung der phänologischen Entwicklung wurden die Merkmale Schossbeginn (Erscheinen des ersten Nodiums; BBCH31) und Beginn Ährenschieben (Erscheinen der

Blütenstandsspitze aus der Blattscheide des obersten Blattes; BBCH50) nach [5] erfasst. Die kritische Phase der Halmverlängerung wurde für jeden Genotyp anhand der jeweiligen Daten des Schossbeginns und des Beginns des Ährenschiebens bestimmt. Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R 2.14.1 [7]. Auf Basis eines gemischten Modells wurden die populationsgenetischen Parameter (Varianzen, Heritabilität, Variationskoeffizienten, Korrelationskoeffizienten, Selektionsgewinn) für die drei untersuchten Merkmale geschätzt. Die phänologischen Daten, ursprünglich erfasst als Tage nach dem 1. April bzw. als Phasenlänge in Tagen, wurden für die statistischen Analysen als kumulierte Temperatursummen ausgedrückt (ab 1. Januar bis Merkmalsbeginn, Basistemperatur von 5 °C).

3 Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Deutsch Weidelgras Genotypen zeigten eine große Variation in der phänologischen Entwicklung (Abb. 1). Der Schossbeginn variierte 2011 zwischen 26 und 57 Tagen nach dem 1. April, der Interquartilsabstand betrug jedoch nur 3 Tage. 2012 war die Verteilung mit 8 Tagen breiter, mit Werten zwischen 5 und 38 Tagen nach dem 1. April. Die Ergebnisse einer Regressionsanalyse (Slope: 0.35; Intercept: 27:6) deuten darauf hin, dass der Schossbeginn stark von Umwelteffekten beeinflusst wird. Der Beginn des Ährenschiebens umfasste 2011 einen Wertebereich von 37 Tagen (33 bis 69 Tage nach dem 1. April) und 2012 von 41 Tagen (26 bis 66 Tage nach dem 1. April). In Anlehnung an die Klassifizierung der Reifegruppen des Bundessortenamtes, decken die untersuchten Genotypen das gesamte Spektrum von sehr frühen bis sehr späten Typen ab. Eine Steigung von 1.01 und ein nicht-signifikant von null verschiedener Achsenabschnitt deuten auf eine große genetische Fixierung des Beginns des Ährenschiebens. Die Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung zeigte in beiden Jahren eine ähnliche Verteilung (2011: 3 bis 34 Tage; 2012: 11 bis 47 Tage). Ein Jahreseinfluss auf die Länge der kritische Phase ist vorhanden, fällt aber im Vergleich zum Schossbeginn geringer aus (Slope: 0.64; Intercept: n.s.).

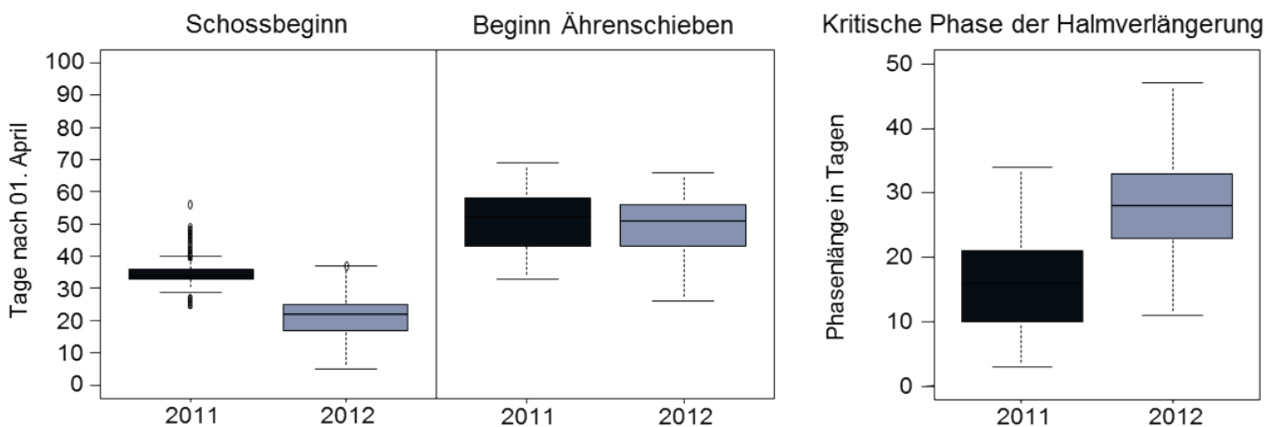


Abb. 1: Boxplots der phänologischen Merkmale Schossbeginn, Beginn Ährenschieben (jeweils in Tage nach dem 1. April) und der kritischen Phase der Halmverlängerung (Phasenlänge in Tagen) der Dt. Weidelgras Genotypen in den Versuchsjahren 2011 und 2012.

Um die vorhandene Variation in den phänologischen Merkmalen spezifischer zu charakterisieren, wurde eine Schätzung der populationsgenetischen Parameter vorgenommen (Tab. 2). Die geschätzte, genotypische Varianz war in allen drei beobachteten Merkmalen signifikant (p-Wert < 0.001). Über die genotypischen Variationskoeffizienten kann diese zwischen den Merkmalen verglichen werden. Das Merkmal Schossbeginn zeigte dabei die geringste genotypische Variation, da neben den genetisch regulierten, physiologischen Prozessen der Beginn der floralen Induktion maßgeblich durch Vernalisation, kritische Frühjahrestemperaturen und Photoperiodismus (primäre und sekun-

däre Induktion) sowie hormonelle Veränderungen determiniert ist [3]. Der Beginn des Ährenschiebens wies eine höhere genotypische Variation auf. Neben der starken genetischen Fixierung ([6], [1]) wirken mögliche Umwelteinflüsse nach der erfolgreichen Umsteuerung nur noch gering. Bei der kritischen Phase der Halmverlängerung konnte die größte genotypische Variation gefunden werden, da nicht nur die physiologischen Prozesse eine Rolle spielen, die den Beginn des Ährenschiebens festlegen, sondern auch die des Schossbeginns. Bezogen auf die Gesamtvariation betrug der Anteil an genetischer Variabilität im Merkmal Schossbeginn 28 % und in den Merkmalen Beginn Ährenschieben und Kritische Phase der Halmverlängerung jeweils 85 %. Auf Basis des genotypischen Variationskoeffizienten lassen sich zwar Aussagen über den Umfang der genetischen Variabilität in den phänologischen Merkmalen treffen, aber nicht über den heritablen Teil. Das Verhältnis der genotypischen Varianz zur phänotypischen Varianz als die Heritabilität im weiten Sinne gibt dagegen Aufschluss über den Anteil an heritabler Variabilität an der Gesamtvariation. Sie liefert dadurch einen Schätzwert, der auf die Verlässlichkeit des phänotypischen Wertes hinweist [4]. Das Merkmal Schossbeginn zeigte eine moderate Heritabilität von 59 %, unterliegt somit den Umwelteinflüssen auf einem relativ hohen Niveau. Im Beginn Ährenschieben und in der kritischen Phase der Halmverlängerung deutet eine Heritabilität von 95 % bzw. 90 % auf eine qualitativ genetische Natur der Merkmale hin, die nahezu unabhängig von Umwelteinflüssen ist. Bezogen auf die Gesamtvariation betrug der Anteil an heritabler Variabilität im Merkmal Schossbeginn 22 %, im Beginn Ährenschieben 83 % und in der kritische Phase der Halmverlängerung 81 %.

Tab. 2: Merkmalsmittelwerte und deren Standardabweichung und Schätzwerte der populationsgenetischen Parameter für die phänologischen Merkmale Schossbeginn, Beginn Ährenschieben und die kritische Phase der Halmverlängerung gemittelt über die Versuchsjahre [Mittelwerte und deren Standardabweichungen als Tage nach 1. April oder Phasenlänge in Tagen].

Parameter	Schossbeginn	Beginn Ährenschieben	Kritische Phase der Halmverlängerung
Mittelwert	171.5 [28.2]	331.4 [50.3]	159.9 [22.1]
Standardabweichung μ	66.7 [8.7]	84.8 [8.6]	67.0 [9.1]
Genotypische Varianz σ_g^2	358.0 ***	5258.1 ***	3264.3 ***
Phänotypische Varianz σ_p^2	611.7	5521.7	3641.3
Restvarianz σ_e^2	22.5	23.0	27.5
Heritabilität h^2	0.59	0.95	0.90
Genot. Variationskoeff. GCV	0.11	0.22	0.36
Selektionsgewinn GAM%	17.4	44.0	69.7

***: Signifikant bei $p < 0.001$.

Die genotypischen Variationskoeffizienten und die Heritabilität sind unerlässlich für die phänotypische Selektion [2]. Der sich ergebende, theoretische Selektionsgewinn (bei $\alpha = 5\%$) ist vor allem für den Beginn Ährenschieben und die kritische Phase der Halmverlängerung wie erwartet sehr hoch und kann auf eine additive Genwirkung deuten. Gekoppelt mit der hohen Heritabilität spricht das für leicht vererbare Merkmale. Die phänotypische und genotypische Korrelation gibt im letzten Schritt Aufschluss, über die Beziehungen zwischen den phänologischen Merkmalen (Tab. 3). Die genotypische Korrelation dient dabei der Messung der genetisch bedingten Assoziation. Moderate bis hohe genotypische Korrelationen sagen meist genetische Kopplung oder pleiotrope Effekte

voraus, die an der Merkmalsausprägung beteiligt sind [4]. Die ausnahmslos hohen genotypischen Korrelationen in den untersuchten Merkmalen sind aber in diesem Fall auf die gleiche genetische Grundlagen zurückzuführen, die die florale Induktion einleiten. Auf den Schossbeginn wirken jedoch im Vergleich mehr Faktoren ein, die nach der erfolgreichen Umsteuerung nur noch eine geringe Rolle spielen. Die phänotypische und genotypische Korrelation zum Schossbeginn ist dadurch generell geringer.

Tab. 3: Schätzwerte der genotypischen (r_g) und phänotypischen (r_p) Korrelationskoeffizienten für die phänologischen Merkmale Schossbeginn, Beginn Ährenschieben und die kritische Phase der Halmverlängerung gemittelt über die Versuchsjahre [r_g unterhalb und r_p oberhalb der Diagonale].

	Schossbeginn	Beginn Ährenschieben	Kritische Phase der Halmverlängerung
Schossbeginn		0.68**	0.42**
Beginn Ährenschieben	0.86**		0.95**
Kritische Phase der Halmverlängerung	0.76**	0.99**	

** : Schätzwert des phänotypischen Korrelationskoeffizienten ist signifikant bei $p < 0.01$.

** : Absoluter Wert des genotypischen Korrelationskoeffizienten ist größer als der doppelte Standardfehler

Bei der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen dem Schossbeginn, dem Beginn des Ährenschiebens und der kritische Phase der Halmverlängerung (Abb. 2) war auffällig, dass die Genotypen ungeachtet des Beginns des Ährenschiebens meist einen frühen Schossbeginn aufwiesen. Das widerspricht der Annahme, dass die kritische Phase der Halmverlängerung unabhängig vom Beginn des Ährenschiebens eine annähernd gleiche Phasenlänge aufweist. Späte Typen weisen demnach nicht wie die frühen Typen ebenfalls kurze kritische Phasen der Halmverlängerung auf, sondern vielmehr lange Phasen. In diesem Fall hat der Beginn des Ährenschiebens einen großen Effekt auf die Phase der Halmverlängerung, ist aber unabhängig vom Schossbeginn. Dennoch gab es Genotypen mit einer Kombination von spätem Schossbeginn und verhältnismäßig frühem (kurze Phase) bzw. spätem (lange Phase) Beginn des Ährenschiebens. In diesem Fall wird die Länge der kritischen Phase nicht ausschlaggebend vom Beginn des Ährenschiebens bestimmt. Unabhängig von der Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung führt jedoch ein später Schossbeginn zwangsläufig zu einem mittleren oder späten Beginn des Ährenschiebens. Das deutet darauf hin, dass in diesem Fall der Schossbeginn dennoch einen ausschlaggebenden Einfluss auf die Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung ausübt.

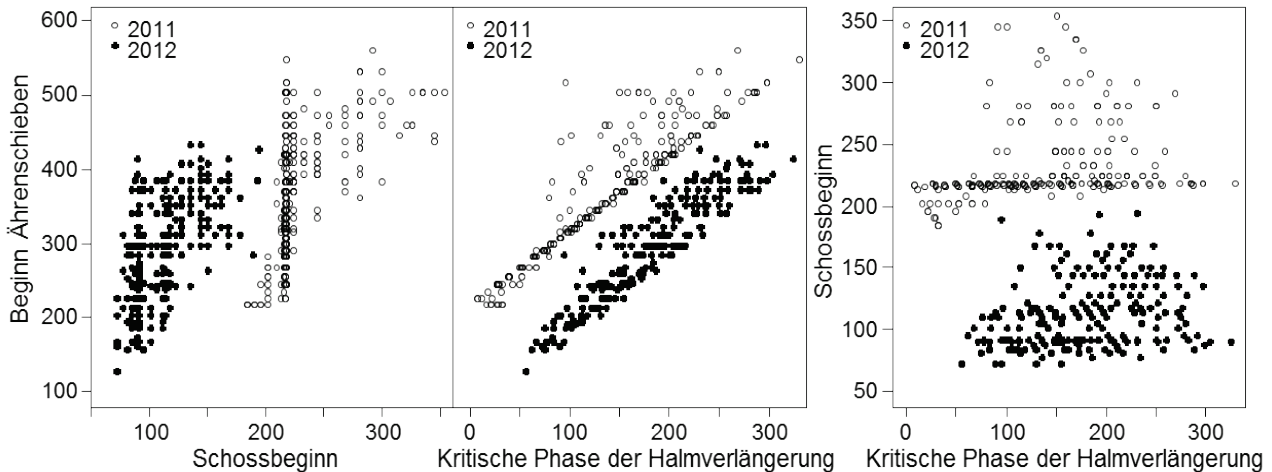


Abb. 2: Abhängigkeit des Schossbeginns (a) und der kritischen Phase der Halmverlängerung (b) vom Beginn des Ährenschiebens und Beziehung zwischen dem Schossbeginn und der kritischen Phase der Halmverlängerung (c) in den Versuchsjahren 2011 und 2012 (jeweils in akkumulierten Temperatursummen).

Generelle Aussagen über die Stabilität der phänologischen Merkmale, d.h. der Genotyp*Umwelt-Interaktionen, konnten nicht getroffen werden, da die Studie nur an einem Standort durchgeführt wurde.

4 Schlussfolgerung

Das in dieser Studie verwendete Pflanzenmaterial zeigte eine große phänotypische Vielfalt in den phänologischen Merkmalen Schossbeginn, Beginn Ährenschieben und der kritische Phase der Halmverlängerung. Ein großer Anteil der beobachteten Variabilität war dabei hoch heritabel und könnte daher für verschiedene Züchtungsvorhaben genutzt werden. In dieser Hinsicht kommt jedoch den in dieser Studie nicht berücksichtigten agronomisch-morphologischen Merkmalen eine große Bedeutung zu. In einem nächsten Arbeitsschritt werden daher die Beziehungen zwischen der phänologischer Entwicklung und den Ertrags- bzw. Qualitätsparametern analysiert.

5 Literatur

- [1] Armstead, I.P., Turner, L.B., Farrell, M., Skøt, L., Gomez, P., Montoya, T., Donnison, I.S., King, I.P. and Humphreys, M.O., (2003): Synteny between a major heading-date QTL in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and the *Hd3* heading-date locus in rice. *Theoretical and Applied Genetics* 108: 822-828.
- [2] Burton, G.W., (1952): Quantitative inheritance in grasses. *Proceedings of the sixth international Grassland Congress I*, pp. 277-283.
- [3] Colasanti, C. and Coneva, V., (2009): Mechanisms of floral induction in grasses: something borrowed, something new. *Plant Physiology* 149: 56-62.
- [4] Falconer, D.S., (1989): *Introduction to quantitative genetics* (3rd ed.). Longmans Green / John Wiley & Sons, Harlow, Essex, UK/New York.
- [5] Gustavsson, A.-M. (2011): A developmental scale for perennial forage grasses based on the decimal code framework. *Grass and Forage Science* 66(1): 93-108.

- [6] Hayward, M.D., Mcadam, N.J., Jones, J.G., Evans, C., Forster, J.W., Ustin, A., Hossain, K.G., Quader, B., Stammers, M. and Will, J.K. (1994): Genetic markers and the selection of quantitative traits in forage grasses. *Euphytica* 77: 269-275.
- [7] R Development Core Team (2008): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org> 13.04.2013
- [8] Taube F. (1990): Growth characteristics of contrasting varieties of perennial ryegrass. *Journal of Agronomy and Crop Science* 165: 159-170.
- [9] Wulfes, R., Nyman, P. and Kornher, A. (1999): Modelling nonstructural carbohydrates in forage grasses with weather data. *Agricultural Systems* 61: 1-16.