

Einfluss der Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung auf den Ertrag und die Futterqualität von Ökotypen des Deutschen Weidelgrases (*Lolium perenne* L.)

I. Ullmann, A. Herrmann und F. Taube

Christian-Albrechts-Universität Kiel, Institut für Pflanzenbau und -züchtung,
Abteilung Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau,
Hermann-Rodewald-Straße 9, 24118 Kiel

iullmann@gfo.uni-kiel.de

Einleitung und Problemstellung

Die Futterqualität und der Ertrag des Deutschen Weidelgrases werden maßgeblich durch die Umsteuerung von der vegetativen zur generativen Phase bestimmt. Mit dem Streckungswachstum ergeben sich die höchsten Ertragszuwächse (TAUBE, 1990). Gleichzeitig steuert der Halm aufgrund der Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten einen wichtigen Beitrag zur Energiedichte des Futters bei (POLLOCK et al., 1996). Neben dem Beginn des Ährenschiebens, der als optimaler Nutzungstermin im Feldfutterbau gilt (WULFES et al., 1999; TAUBE, 1990), ist somit auch die Phase der Halmverlängerung entscheidend. Diese kritische Phase zwischen Schossbeginn und Beginn Ährenschieben stellt einen neuen Ansatz für die züchterische Bearbeitung dar. Die vorhandene genotypische und phänotypische Variation in diesem Merkmal ist deutlich höher als für den Beginn Ährenschieben bei ähnlicher Heritabilität (ULLMANN et al., 2014). In der vorliegenden Studie wurde untersucht, inwieweit die vorhandene Variation in der Länge der kritischen Phase die Ertragsleistung und die Futterqualität von Deutschem Weidelgras beeinflusst und ob die kritische Phase als Selektionsmerkmal zur Steigerung der Futterqualität genutzt werden kann.

Material und Methoden

In den Jahren 2012 und 2013 (Tabelle 1) wurde auf der mecklenburgischen Insel Poel (53° 59' N, 11° 28' E, alt. 5 m) ein nicht-wiederholter Feldversuch mit 300 bzw. 286 Deutsch Weidelgras Genotypen angelegt. Die Einzelpflanzen repräsentierten acht verschiedene Ökotypenpopulationen, die im Frühjahr 2010 auf alten Dauergrünlandflächen in Schleswig-Holstein gesammelt wurden.

Tabelle 1: Monatliche Durchschnittstemperaturen (°C) und Niederschlagsmengen (mm) in den Beobachtungszeiträumen der Versuchsjahre 2012 und 2013

Monat	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Jahres-Ø
Temperatur in °C							
2012	2.3	-0.6	6.3	7.6	13.0	14.8	9.1
2013	1.0	0.2	-0.4	7.3	12.8	15.4	9.2
Niederschlag in mm							
2012	53	20	6	21	53	52	40.5
2013	61	46	25	39	94	65	47.9

Die Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung errechnete sich für jeden Genotyp anhand der jeweiligen Daten des Schossbeginns und des Beginns des Ährenschiebens (Bonitur nach GUSTAVSSON, 2011). Für die Erfassung des Trockenmasseertrags (TM,

g/Einpflanze) und der Qualitätsparameter Verdaulichkeit (DOM, g/kg TM), Verdauliche Trockenmasse (DOM×TM, g/Einpflanze), Gehalt wasserlöslicher Kohlenhydrate (WSC, g/kg TM), Neutrale-Detergenzienfaser (NDF, g/kg TM) und Enzymlösliche organische Substanz der NDF (ZWV, g/kg TM) wurden zum jeweiligen Zeitpunkt des Ährenschiebebeginns zwei Einzelpflanzen pro Genotyp geerntet, analysiert und deren Ergebnisse gemittelt. Die Datenauswertung erfolgte mit der Statistiksoftware R 2.14.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008) und PLABSTAT 3A (UTZ, 1993). Zunächst wurden die phänotypischen und genotypischen Korrelationskoeffizienten geschätzt. Mittels einer Kovarianzanalyse wurde anschließend der Einfluss der kritischen Phase der Halmverlängerung und des Jahres auf den Ertrag und die Qualitätsparameter ermittelt. Gleichzeitig wurde die aufgrund des Faktors Jahr entstehende Korrelation zwischen den Genotypen berechnet. Die kritische Phase der Halmverlängerung, ursprünglich erfasst als Phasenlänge in Tagen, wurde für die statistischen Analysen als kumulierte Summe der Umweltfaktoren ausgedrückt. Dafür wurden die Umweltfaktoren Temperatur (abzüglich 5 °C Basistemperatur), Niederschlag, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, Tageslänge und Wasserindex (Modell FOPROQ) anhand der Ladungen der ersten Hauptkomponente (siehe PCA, bspw. HARTUNG and ELPELT, 1999) gewichtet und addiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die untersuchten Genotypen zeigten in den geprüften agronomischen Merkmalen eine große Variation (Tabelle 2). Dabei wies vor allem die Verdaulichkeit ein relativ hohes Niveau auf und spiegelte das im gegenwärtigen Sortenpool vorhandene Potential wider. Es ist aber zu berücksichtigen, dass es sich bei den dargestellten Beobachtungen um Einzelpflanzen handelt. Die Korrelation zwischen Einzelpflanze und Bestand kann je nach Merkmal stark variieren (siehe dazu WILKINS and HUMPHREYS, 2003). Ergebnisse können daher nur bedingt übertragen werden.

Tabelle 2: Mittelwerte, Standardabweichung und Wertebereich der Ertrags- und Qualitätsparameter zusammengefasst für die Versuchsjahre 2012 und 2013.

	TM	DOM	DOM×TM	WSC	NDF	ZWV
Mittelwert	48.9	845.3	41.0	125.6	488.3	686.2
Standardabweichung	20.4	25.6	16.5	30.3	45.9	22.7
Wertebereich	8 - 131	753 - 904	7 - 708	15 - 185	392 - 646	569 - 781

Um die Zusammenhänge zwischen der kritischen Phase der Halmverlängerung und den Ertrags- und Qualitätsparametern bewerten zu können, wurden die genotypischen und phänotypischen Korrelationskoeffizienten geschätzt (Tabelle 3). Wie schon bei ULLMANN et al. (2013) beschrieben, zeigte sich eine moderate bis hohe Korrelation zum Trockenmasseertrag. Die Länge der Schossphase spielt bei der Trockenmasseakkumulation neben den genetisch regulierten Prozessen, die die Wasseraufnahme, Nährstoffassimilation und Photosyntheseleistung regulieren, eine große Rolle. Mit dem Beginn des Streckungswachstums kommt es zu einer deutlichen Verschiebung des Blatt/Stängel-Verhältnisses. Dabei findet in den Halminternodien die Akkumulation wasserlöslicher Kohlenhydrate statt, die ihr Maximum kurz vor dem Ährenschieben erreicht (MATTHES, 1986; POLLOCK et al., 1996). Dieser positive Zusammenhang konnte auch anhand der moderaten phänotypischen Korrelation der WSC zur kritischen Phase beobachtet werden. Mit steigender Länge der kritischen Phase nahm der Gehalt an Gerüstsubstanzen bei gleichzeitigem Anstieg der enzymlöslichen organischen Substanz der NDF ab. Diese Beobachtung könnte auf die Zusammensetzung der Bestockungstriebe zurückzuführen sein. Mit steigender Länge der kritischen Phase nimmt die Anzahl der Bestockungstriebe zu, gleichzeitig sinkt indessen die Anzahl der Triebe, die sich im generativen Entwicklungsstadium befinden. So waren zum Schnittzeitpunkt bei Genotypen mit kurzer Phasenlänge teils deutlich weniger Triebe vorhanden, von denen sich ein Großteil im oder kurz vor dem Ährenschieben befand. Dagegen wiesen die Genotypen mit einer lan-

gen kritischen Phase zum Schnittzeitpunkt viele Triebe auf, die sich gerade erst in der floralen Umsteuerung und im beginnenden Streckungswachstum befanden. Die geringen negativen bzw. positiven Korrelationskoeffizienten zwischen kritischer Phase und NDF bzw. ZWV deuten jedoch auf einen mäßigen linearen Zusammenhang.

Tabelle 3: Schätzwerte der phänotypischen ($\hat{\rho}_p$) und genotypischen ($\hat{\rho}_g$) Korrelationskoeffizienten zwischen der kritischen Phase der Halmverlängerung und den Ertrags- und Qualitätsparametern gemittelt über die Versuchsjahre 2012 und 2013.

	TM	DOM	DOM×TM	WSC	NDF	ZWV
Kritische Phase der Halmverlängerung						
Phänot. Korrelationskoeffizienten $\hat{\rho}_p$	0.59**	-0.59**	0.57**	0.43**	-0.15*	0.16**
Genot. Korrelationskoeffizienten $\hat{\rho}_g$	0.87**	-0.71**	0.88**	-#	-0.38**	0.23**

#: Schätzung der genotypischen Korrelation durch negative Varianzkomponentenschätzung nicht möglich.

*: Schätzwert des phänotypischen Korrelationskoeffizienten ist signifikant bei $p < 0.05$.

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

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

Die von CASLER (2001) beschriebenen Mechanismen zur Erhöhung der Verdaulichkeit, also die Senkung der Gehalte an Gerüstsubstanzen, eine Reduzierung der Lignifizierung der Zellwand (Daten nicht gezeigt), sowie die Steigerung der Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten können durch eine Verlängerung der kritischen Phase umgesetzt werden. Doch die moderate bis hohe negative Korrelation zwischen kritischer Phase und Verdaulichkeit zeigte, dass bei steigender Phasenlänge die Verdaulichkeit sinkt. Die moderate bis hohe positive Korrelation zur verdaulichen Trockenmasse deutet jedoch darauf hin, dass eine Verlängerung der kritischen Phase die geringere Verdaulichkeit durch ein höheres Ertragspotential kompensieren kann.

Um die Beziehung zwischen der kritischen Phase und den Ertrags- und Qualitätsparametern über die zwei Versuchsjahre besser abbilden zu können, wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt (Tabelle 4). Der Einfluss der kritischen Phase war in allen agronomischen Merkmalen signifikant (p -Wert < 0.05). Der Jahreseinfluss war lediglich für den Trockenmasseertrag nicht signifikant. Eine signifikante Interaktion zwischen Kovariable und Jahr zeigt sich für die Merkmale TM, DOM×TM, WSC sowie NDF. Die geschätzten Korrelationen der Genotypen zwischen den Jahren fielen mit Ausnahme der Verdaulichkeit eher gering aus. Dies deutet auf eine geringe genetische Varianz und eine mäßige Heritabilität der agronomischen Merkmale hin.

Zur Veranschaulichung der Beziehung zwischen kritischer Phase und Versuchsjahr wurden die in der Kovarianzanalyse geschätzten Slopes für die geprüften agronomischen Merkmale dargestellt (Abbildung 1). Dabei führten die signifikanten Interaktionen zu jahresabhängigen Slopes. Ein nicht-signifikanter Slope zeigte sich nur im Merkmal WSC im Versuchsjahr 2012. In den Merkmalen DOM und ZWV konnten signifikante Jahresunterschiede beobachtet werden.

Tabelle 4: Kovarianzanalyse der Ertrags- und Qualitätsparameter über die Versuchsjahre 2012/2013. (#: Nicht signifikant. *: Signifikant bei $p < 0.05$. ***: Signifikant bei $p < 0.01$).

Varianzursache	FG	F-Wert					
		TM	DOM	DOM×TM	WSC	NDF	ZWV
Kritische Phase	1	165.6***	530.2***	141.1***	6.5*	109.7***	163.7***
Jahr	1	2.3#	121.1***	4.1*	437.7***	486.2***	635.6***
Kritische Phase*Jahr	1	23.1***	1.2#	22.9***	131.1***	101.9***	3.5#
Korr. der Genotypen zw. Jahren		0.13	0.41	0.14	0.08	0.19	0.25

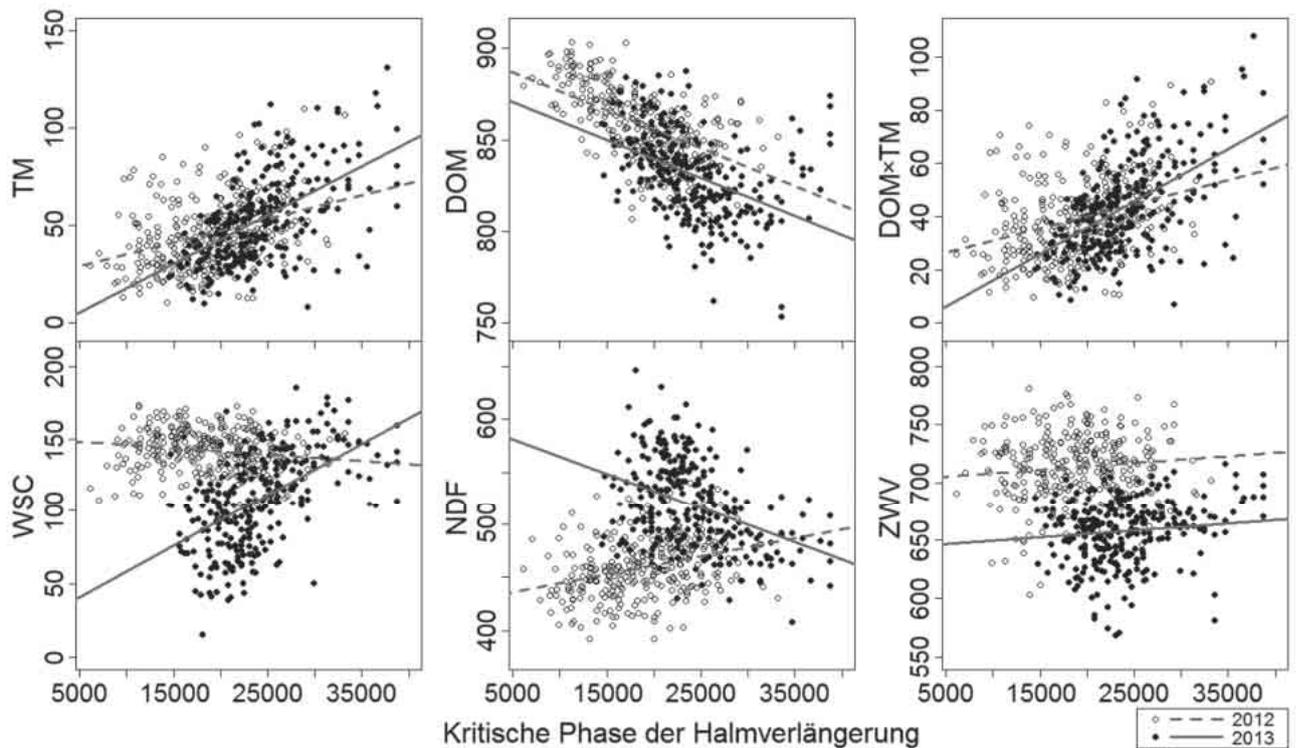


Abbildung 1: Regression der Ertrags- und Qualitätsparameter in Bezug zur kritischen Phase der Halmverlängerung und in Abhängigkeit der Versuchsjahre 2012 und 2013.

Die Regression der Daten stimmte weitestgehend mit den Werten der Korrelation überein, deckte jedoch die große Streuung in den agronomischen Merkmalen auf. So zeigte sich beispielsweise in der Verdaulichkeit trotz negativer Beziehung zur kritischen Phase eine große Variation bei den Genotypen mit längerer kritischer Phase. Auf diese Weise können Genotypen identifiziert werden, die bei einer langen kritischen Phase eine überdurchschnittlich hohe Verdaulichkeit aufweisen. Auffällig waren zudem die starken Jahresunterschiede vor allem in den Merkmalen WSC und NDF. Dabei zeigte sich eine gegenläufige Beziehung der kritischen Phase zum Merkmal NDF und deutet auf einen starken Umwelteinfluss hin.

Schlussfolgerungen

Der in dieser Studie untersuchte Einfluss der Länge der kritischen Phase der Halmverlängerung auf die Ertragsleistung und die Futterqualität fiel entgegen den Erwartungen teilweise nur moderat aus. Nur für den Trockenmasseertrag konnte ein deutlicher Effekt der Phasenlänge beobachtet werden. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und die Enzymlösliche organische Substanz der NDF zeigten eine tendenziell positive Beziehung zur kritischen Phase. Die Verdaulichkeit wies generell ein hohes Niveau auf, dennoch konnte kein positiver Zusammenhang zur kritischen Phase ermittelt werden. Die große Variation in den agronomischen Merkmalen ermöglicht eine Selektion von Genotypen mit einer langen kritischen Phase bei gleichzeitig hoher Ertragsleistung und Futterqualität, doch die teils deutlichen Jahresunterschiede, wie beispielsweise für die NDF beobachtet, lassen auf einen starken Umwelteffekt schließen. Die generelle Nutzung der kritischen Phase als Selektionskriterium zur Steigerung der Futterqualität ist nicht gegeben. Eine Nutzung als Selektionsmerkmal zur Ertragssteigerung ist aufgrund des hohen genotypischen Korrelationskoeffizienten möglich.

Literatur

- CASLER, M.D. (2001): Breeding forage crops for increased nutritional value. *Advances in Agronomy* 71: 51-107.
- 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.
- HARTUNG, J. and ELPELT, B. (1999): Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik (6th ed.). Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, Munich, Germany.
- MATTHES, K. (1986): Beziehungen zwischen Sortencharakter und den Gehalten wasserlöslicher Kohlenhydrate sowie verschiedener Strukturbestandteile bei der Art *Lolium perenne* L. Dissertation, University of Hohenheim, Germany.
- POLLOCK, C.J., CAIRNS, A.J., SIMS, I.M. and HOUSELEY, T.L. (1996): Fructans as reserve carbohydrates in crop plants. In: ZAMSKI, E. and SCHAFFER, A.A. (eds.). Photoassimilate distribution in plants and crops. Series: Books in Soils, Plants and the Environment. Dekker, M., New York, 97-113.
- 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
- TAUBE, F. (1990): Growth characteristics of contrasting varieties of perennial ryegrass. *Journal of Agronomy and Crop Science* 165: 159-170.
- ULLMANN, I., HERRMANN, A., and TAUBE, F. (2013): Phänologische Entwicklung und Ertrag von schleswig-holsteinischen Ökotypen des Deutschen Weidelgrases (*Lolium perenne* L.). In: ROßBERG, R. (ed.): DLG-Gräsertagung 2013: Züchtungsperspektiven und Saatgutproduktion bei Gräsern, Klee und Zwischenfrüchten. 54. Fachtagung des DLG-Ausschusses „Gräser, Klee und Zwischenfrüchte“, 04-05 November 2013, Bonn, Germany, pp. 29-38.
- ULLMANN, I., THURAU, T., CAI, D., TAUBE, F. and HERRMANN, A. (2014): Variability in phenological development in reproductive growth of perennial ryegrass genotypes (*Lolium perenne* L.) in Northern Germany (in Vorbereitung).
- UTZ, H.F. (1993): PLABSTAT. Institute of Plant Breeding, Seed Science and Population Genetics. University of Hohenheim, Stuttgart. (<http://www.uni-hohenheim.de/~ipspwww.soft.htm>)
- WILKINS, P.W. and HUMHREYS, M.O. (2003): Progress in breeding perennial forage grasses for temperate agriculture. *Journal of Agricultural Science* 140: 129-150.
- WULFES, R., NYMAN, P. and KORNHER, A. (1999): Modelling nonstructural carbohydrates in forage grasses with weather data. *Agricultural Systems* 61: 1-16.