

„Welche funktionalen Merkmale erklären den Zuchtfortschritt von Silomais?“

K. BUDDE, F. TAUBE UND A. HERRMANN

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

kbudde@gfo.uni-kiel.de

Einleitung und Problemstellung

Für Silomais ist ein im Vergleich zu anderen Getreiden und Futterpflanzen hoher züchterischer Ertragsfortschritt dokumentiert. So berichten LAIDIG *et al.* (2014) für deutsche Silomaisarten einen genetisch bedingten Ertragszuwachs von $0.192 \text{ t TM ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ für die letzten 3 Jahrzehnte. Für US-amerikanisches Material wird ein linearer Ertragsrend von 0.128 bis $0.164 \text{ t ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ für den Zeitraum 1930-1998 nahezu ausschließlich über höhere Kolbenenerträge erklärt. Es kann angenommen werden, dass sich der Zuchtfortschritt nicht nur in einem Anstieg der Sprossmasse manifestiert, sondern indirekt auch das Wurzelsystem, d.h. die Wurzelmasse bzw. Wurzelarchitektur modifiziert wurde. Belastbare Studien hierzu liegen für Mais jedoch nur in einem sehr begrenzten Umfang vor. Nach einer Studie zum Zuchtfortschritt bei chinesischer Maisgenetik zeichnen sich neuere Sorten durch eine größere Wurzelmasse, Wurzellänge sowie einen höheren Anteil Wurzeln im Unterboden (30-60 cm) aus, was in einer verbesserten Wasser- und N-Nutzungseffizienz resultieren kann (NING *et al.* 2014). Eine US-amerikanische Studie belegt für neuere Sorten eine veränderte Wurzelarchitektur, beispielsweise eine geringere Anzahl nodaler Wurzeln und ein modifiziertes Verzweigungsmuster, welches eine effizientere Nährstoff- und Wasseraufnahme und verbesserte Ertragsleistung ermöglichen soll (YORK *et al.* 2015).

Ziel des aktuellen Carbomais-Projektes ist es, den Beitrag funktionaler Merkmale von Spross und Wurzel zum Zuchtfortschritt von Silomais zu quantifizieren. Hierbei sollen folgende Hypothesen geprüft werden: (i) der in den letzten 4 Jahrzehnten erfolgte Ertragsfortschritt hat zu einer überproportionalen Akkumulation von Wurzelmasse und zu einem Anstieg des Wurzel/Spross-Verhältnisses geführt, (ii) höhere Erträge neuer Maissorten sind mit einer gesteigerten Wurzelmasse (Brutto, Netto) im Unterboden korreliert, und (iii) bei ähnlichen Abbauraten der Wurzel weisen neuere Sorten günstigere Humusbilanzsalden auf als ältere Sorten.

Material und Methoden

Basis der Untersuchungen bildet ein zweijähriger Feldversuch (2015–2016), der am Standort Ostfeld (Schleswig-Holstein) auf den Versuchsfeldern der FH Kiel („Lindenhof“) mit den in Tab.1 dargestellten Silomaisarten durchgeführt wird. Die vorherrschenden Bodenarten sind lehmiger Sand und sandiger Lehm und die Flächen sind mit durchschnittlich 50 Bodenpunkten bewertet. Der Standort zeichnet sich im langjährigen Mittel durch eine Durchschnittstemperatur von $8,9 \text{ °C}$ bei 847 mm Jahresniederschlag aus. Im Versuchsjahr 2015 lagen der Jahresniederschlag mit 1007 mm und die Durchschnittstemperatur mit 9.7 °C über dem jeweiligen langjährigen Mittel.

Der Versuch wurde als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt. Das geprüfte Maissortiment ist Tabelle 1 zu entnehmen. Insgesamt wurden 10 Sorten aus dem mittelfrühen Sortiment ausgewählt, welche das Sortenspektrum der letzten 40 Jahre repräsentieren und sich durch ein hohes Ertragspotenzial und eine hohe Futterqualität auszeichneten. Zusätzlich zu den in Tabelle 1 aufgeführten Varianten wurde die Sorte Ronaldinio als ungedüngte Variante mitgeführt zur Abschätzung der N-Nachlieferung, sowie eine unbewachsene Parzelle zur Quantifizierung der heterotrophen Bodenrespiration. Die Aussaat fand am 11.05.2015 statt. Die N-Versorgung erfolgte nach N-Sollwert-Prinzip (180 kg N ha^{-1}). Die Grundnährstoffversorgung wurde in Höhe von $160 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$, $300 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ und 90 kg ha^{-1} MgO appliziert, davon 30 kg N ha^{-1} und $46 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ als Unterfußgabe. Die maschinelle Silomaisernte fand am 26. Oktober statt.

Zur Erfassung der ober- und unterirdischen Biomasseakkumulation wurden folgende Parameter erfasst: Dynamik der Spross-Trockenmassebildung inkl. verschiedener Pflanzenfraktionen (Blatt, Stängel, Kolben, Fahne) an 5 Terminen mittels Handbeprobung, wöchentliche Erfassung der Blattflächenentwicklung (LICOR LAI-2200C), Quantifizierung des Blatt-Gaswechsels (LICOR LI-6400XT) an 5 Terminen, Dynamik

der Brutto-Wurzelmassenbildung im Oberboden mittels ingrowth-core Methode (STEINGROBE *et al.* 2000) im 4-wöchentlichen Intervall bzw. Erfassung der Netto-Wurzelmasse mittels Bohrkernmethode zur Blüte und zur Siloreife in 0-60 cm Tiefe. Die C- und N-Gehalte von Spross und Wurzel sowie relevante Futterqualitätsparameter werden mittels NIRS/Nasschemie ermittelt. Die Varianz- und Regressionsanalytische statistische Auswertung erfolgte mit der Software R.

Tab. 1: Im Versuch geprüfte Sorten, Jahr der Sortenzulassung und Reifezahl.

Variante	Sorte	Zulassung	Reifezahl
1	Brilliant	1971	FAO 230
2	Blizzard	1975	S250/K230
3	Tau	1977	S230/K220
4	Mutin	1980	FAO 240
5	Beketrio	1990	FAO 230
6	Helix	1994	S230/K220
7	Oldham	1999	S220/K230
8	LG 3232 Lupus	2003	S240/K240
9	Ronaldinio gedüngt	2006	S240/K240
10	LG 30224	2012	S230

Ergebnisse und Diskussion

Der zur Siloreife ermittelte Trockenmasse(TM)-Ertrag der geprüften Sorte zeigte einen abgesicherten Einfluss der Sorte, wobei die älteren Sorten Brilliant, Blizzard und Mutin signifikant unterdurchschnittliche Erträge realisierten, während die neueren Sorten Lupus, Ronaldinio und LG 30224 einen überdurchschnittlichen Ertrag aufwiesen (ohne Abb.). Die regressionsanalytische Auswertung belegt einen signifikanten Anstieg des TM-Ertrags mit dem Jahr der Zulassung (Abb. 1), was den in der Literatur dokumentierten Zuchtfortschritt von Silomais bestätigt. Vergleichbare vom Bundessortenamt ermittelte Zahlen belegen einen leicht höheren Ertragsfortschritt von 1.41 dt TM ha⁻¹ (LAIDIG *et al.* 2014). Der Trockensubstanz(TS)-Gehalt variierte zwischen 27.3 (LG 3232) und 32.3% (Tau), d.h. für die meisten Sorten wurde der optimale Erntebereich (30-35% TS) nicht erreicht (ohne Abb.), hauptsächlich bedingt durch eine verzögerte Jugendentwicklung. Die Regressionsanalyse belegt eine signifikante Abnahme des TS-Gehaltes mit dem Zulassungsjahr ($y = 160.78 - 0.0662 * x$), d.h. neuere Sorten zeichneten sich durch tendenziell geringere TS-Gehalte aus.

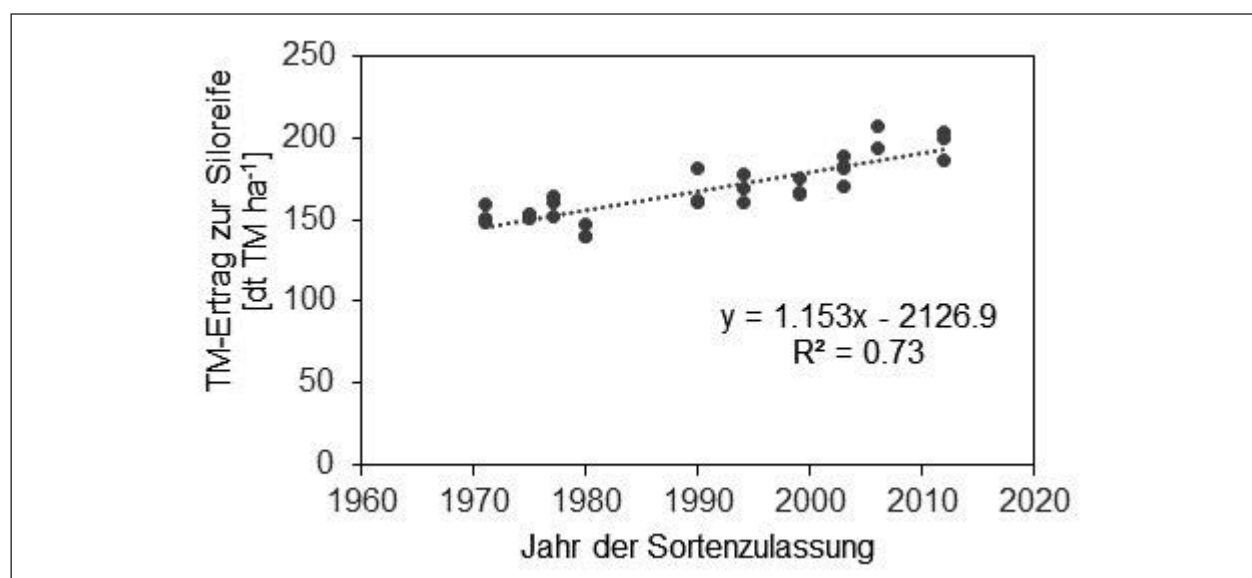


Abb. 1: Beziehung zwischen Jahr der Zulassung und dem Trockenmasseertrag der geprüften Sorten [dt TM ha⁻¹] zur Siloreife für das Versuchsjahr 2015.

Für die mittels ingrowth core Methode ermittelte Brutto-Wurzelmasse ergab die Varianzanalyse eine signifikante Interaktion zwischen Termin und Sorte. Tabelle 2 zeigt die kumulierte Brutto-Wurzelmasse [dt TM ha⁻¹] der 10 Sorten in Abhängigkeit des Termins. Ein Grandmean-Test zeigte zu keinem der 5 Termine einen signifikanten Sortenunterschied. Allerdings wiesen die geprüften Sorten eine unterschiedliche Dynamik der Wurzelmassenbildung auf. Von Termin 1 zu Termin 2 war nur für die Sorten Blizzard und Lupus kein signifikanter Anstieg der Wurzelmasse feststellbar, während von Termin 2 zu Termin 3 (weibliche Blüte) nur für Lupus und LG 30224 ein signifikanter Zuwachs an Wurzelmasse abgesichert werden konnte. Nach der Blüte zeigte keine Sorte einen weiteren Anstieg der Brutto-Wurzelmasse. Auch die Regressionsanalyse ergab keinen signifikanten Anstieg der zur Siloreife akkumulierten Brutto-Wurzelmasse (ohne Abb.), d.h. die Hypothese, dass der Zuchtfortschritt auch in einer Akkumulation von Brutto-Wurzelmasse resultiert hat, konnte nicht bestätigt werden.

Tab. 2: Kumulierte Brutto-Wurzelmasse [dt TM ha⁻¹] der geprüften Sorten in Abhängigkeit des Termins (T); Wurzelmasse erfasst mit der ingrowth-core Methode (4-wöchentliches Intervall); die Symbole stellen die Signifikanzniveaus der Sequence-Tests dar.

Sorte	T 1		T 2		T 3		T 4		T 5
Brilliant	2.79	.	10.00		13.13		13.44		13.52
Blizzard	2.56		9.24		12.92		13.16		13.26
Tau	3.86	***	14.32		17.29		17.58		17.69
Mutin	2.47	***	12.82		16.94		17.20		17.26
Beketrio	1.62	***	11.86		14.03		14.22		14.39
Helix	2.57	***	13.59		17.72		18.21		18.23
Oldham	1.07	**	10.70		14.49		14.99		15.13
Lupus	2.10		8.17	***	17.25		17.15		16.35
Ronaldinio	2.43	***	13.73	.	18.65		20.56		20.64
LG 30224	1.72	.	8.19	*	13.26		13.74		13.84
Gesamtmittel	2.31		11.16		15.55		16.09		16.19

Für die mittels Wurzelbohrern erfasste Netto-Wurzelmasse belegt die varianzanalytische Auswertung für den Pflughorizont (0-30 cm) einen signifikanten Sorteneffekt, wohingegen für den Termin und die Interaktion kein Einfluss nachgewiesen werden konnte. Für die im Unterboden (30-60 cm) erhobenen Wurzeldata konnte kein Effekt der geprüften Faktoren abgesichert werden. Die regressionsanalytische Auswertung zeigt für beide Termine und beide Bodentiefen einen signifikanten Anstieg der Netto-Wurzelmasse mit dem Zulassungsjahr (Abb. 8), d.h. einen Zuchtfortschritt von bis zu 0.124 dt TM ha⁻¹ und Jahr. Dieser war höher zum Zeitpunkt kurz nach der weiblichen Blüte sowie in der oberen Bodenschicht. Einschränkend muss erwähnt werden, dass für den Termin Siloreife in 30-60 cm Bodentiefe die Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% leicht überschritten wurde. Die Ergebnisse bestätigen den für chinesisches Maismaterial dokumentierten Anstieg der Netto-Wurzelmasse neuerer Sorten (NING *et al.* 2014).

Der Anstieg der Netto-Wurzelmasse kann dahingehend interpretiert werden, dass durch den Zuchtfortschritt, d.h. eine verbesserte Assimilatversorgung der Wurzelmasse über einen länger grün und damit photosynthetisch aktiv bleibenden Blattapparat (THOMAS & OUGHAM 2014), die Umsetzungsprozesse der Wurzel verzögert sind. Dies wird bestätigt durch Berechnungen des Wurzelumsatzes, der über zwei methodische Herangehensweisen quantifiziert wurde. Zum einen wurden in den Varianten Brilliant und LG 30224 zusätzlich zu den fünf 4-wöchigen Intervallen der ingrowth core Methode ein 20-wöchiges Intervall beprobt. Während Brilliant und LG 30224 eine über 5 Intervalle (à 4 Wochen) kumulierte Wurzelmasse von 15.5 bzw. 13.8 dt TM ha⁻¹ aufwiesen, wurden für das 20-wöchige Intervall 5.9 bzw. 7.8 dt TM ha⁻¹ ermittelt, was einem Wurzelumsatz von 55% (Brilliant) bzw. 43% (LG 301224) entspricht. Zum anderen kann der Wurzelumsatz aus Brutto- und Netto-Wurzelmasse zum Zeitpunkt der Siloreife abgeleitet werden. Eine regressionsanalytische Auswertung zeigt eine negative Beziehung zum Jahr der Zulassung (ohne Abb.). Übereinstimmend berichten NING *et al.* (2014) eine geringere Abnahme der Netto-Wurzelmasse nach der weiblichen Blüte für neuere Sorten.

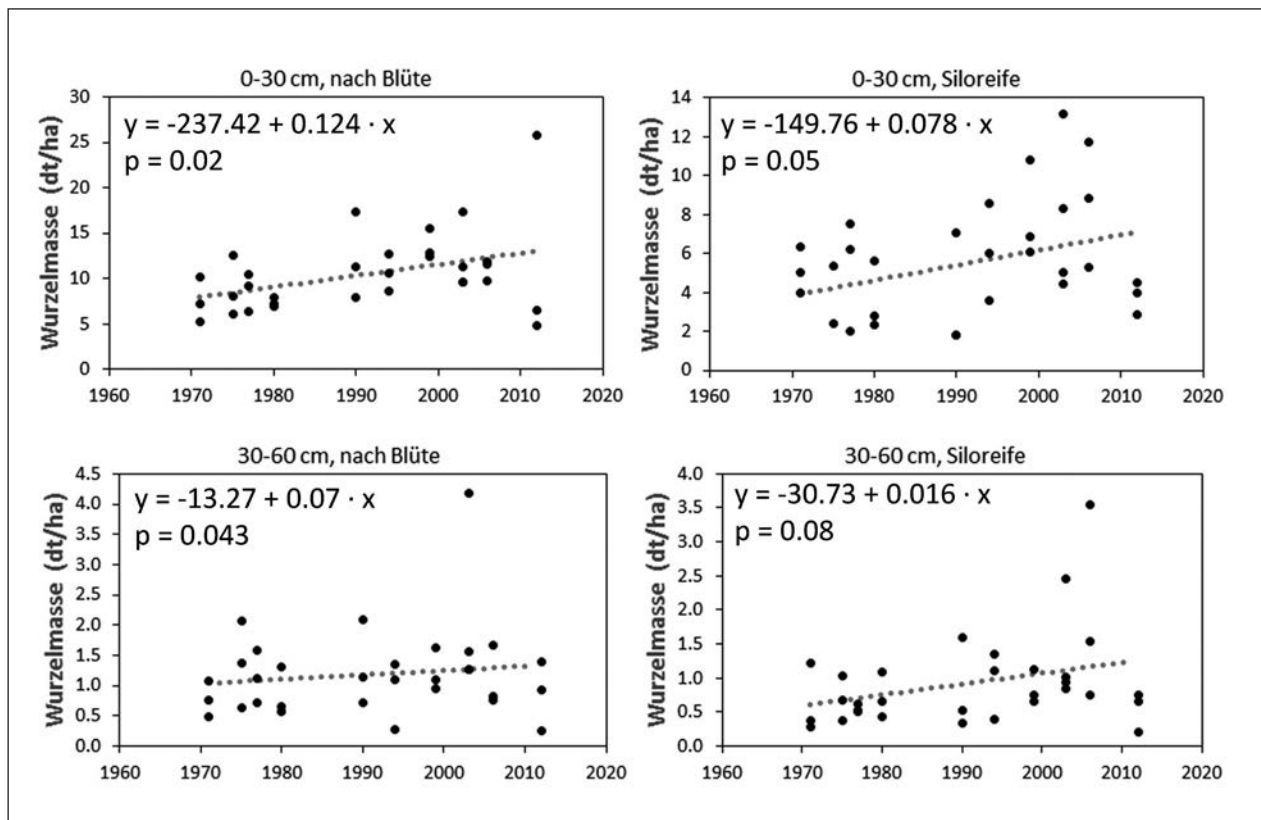


Abb. 2: Netto-Wurzelmasse [dt TM ha⁻¹] der 10 Silomaissorten, erfasst mit der Bohrkernmethode zum Zeitpunkt der weiblichen Blüte (links) und zur Siloreife (rechts) für 0-30 cm Bodentiefe (oben) und 30-60 cm Bodentiefe (unten).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Ergebnisse des ersten Versuchsjahres belegen einen Zuchtfortschritt der erntbaren oberirdischen Biomasse von 1.15 dt ha⁻¹ und Jahr. Die höheren Erträge neuerer Silomaissorten sind jedoch nicht mit einer höheren Brutto-Wurzelmasse korreliert. Allerdings zeigen die Ergebnisse einen signifikanten Anstieg der Netto-Wurzelmasse von älteren zu neueren Sorten, d.h. die eingangs formulierte Hypothese kann nur zum Teil bestätigt werden. Die gesteigerte Netto-Wurzelmasse deutet auf eine verzögerte Wurzelseneszenz neuerer Sorten hin. Der Anstieg der Netto-Wurzelmasse ist jedoch deutlich geringer als der Ertragsanstieg der Sprossmasse. Eine Zunahme des Wurzel-Spross-Verhältnisses kann daher nicht bestätigt werden. Für detailliertere Informationen zur Wurzeldynamik wird im Versuchsjahr 2016 die Brutto-Wurzelmasse auch im Unterboden (30-60 cm) quantifiziert.

Literatur

- Laidig, F., Piepho, H.-P., Drobek, T. & Meyer, U. (2014): Genetic and non-genetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends, *Theoretical and Applied Genetics* 127, 2599-2617.
- Lauer, J.G., Coors, J.G. & Flannery, P.J. (2001): Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras, *Crop Science* 41, 1449-1455.
- Ning, P., Li, S., Li, X. & Li, C. (2014): New maize hybrids had larger and deeper post-silking root than old ones, *Field Crops Research* 166, 66-71.
- Steingrobe, B., Schmid, H. & Claasen, N. (2000): The use of the ingrowth core method for measuring root production of arable crops – influence of soil conditions inside the ingrowth core on root growth, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 617-622.
- Thomas, H. & Ougham, H. (2014): The stay-green trait. *Journal of Experimental Botany* 65, 3889-3900.
- York, L.M., Galindo-Castañeda, T., Schussler, J.R. & Lynch, J.P. (2015): Evolution of US maize (*Zea mays* L.) root architectural and anatomical phenes over the past 100 years corresponds to increased tolerance of nitrogen stress, *Journal of Experimental Botany* 66, 2347-2358.