

Möglichkeiten zur Differenzierung und Identifizierung von Sorten und Genotypen anhand von Wurzelparametern

HORST UNGER, NASIR EL BASSAM, RUTH SCHULZE und INGRID PFLEGER

Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Thüringen

und

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der FAL

1. Einleitung

Die aus ökologischer und ökonomischer Sicht notwendige Reduzierung der Aufwendungen in der Pflanzenproduktion ist u.a. durch sinnvollen Einsatz technischer Möglichkeiten und durch gezielte Nutzung pflanzengenetischer Ressourcen erreichbar. Das genetische Potential der Pflanzen stellt eine für den effizienten Umgang mit Wasser und Nährstoffen noch besser zu erschließende Reserve dar. Dazu könnten Low-Input-Genotypen (LIG) dienen, die eine gute ökologische Anpassungsfähigkeit zeigen und unter gegebenen Standortbedingungen wachstumsfördernde Faktoren wie Licht und natürliche Fruchtbarkeit effektiv ausnutzen, aber auch eine gewisse Resistenz gegenüber wachstumshemmenden Bedingungen wie Trockenheit, O₂-Mangel, Salzgehalt u.a. aufweisen (Dambroth & El Bassam, 1983). Für die Versorgung der Pflanze mit Wasser- und Nährstoffen ist die Wurzel das verantwortliche Organ. Ihre Effizienz wird durch die Ausbreitung im Boden und die Permeabilität ihrer Oberfläche charakterisiert (El Bassam, 1983).

Sproß- und Wurzelbildung sind genetisch verankert. Durch Umweltbedingungen können Ausbildung der Wurzelsysteme und der innere Aufbau der Wurzel beeinflusst, die genetisch bedingten Unterschiede aber nicht aufgehoben werden (Kutschera, 1960). Die Wurzelsysteme der Pflanzenarten unterscheiden sich in morphologischen und Leistungsparametern (Zobel et al., 1975). Perspektivisch gewinnen aber die sortenspezifischen Variationen der Wurzelentwicklung einer Art an Bedeutung.

Mit dem Parameter Wurzelmasse konnten solche Sorten- oder Genotypedifferenzierungen vorgenommen werden (Böhm, 1973; Chloupek, 1976; Opitz v. Boberfeld, 1978). Als Selektionskriterium hat sich die Wurzelmasse bei den Züchtern nicht durchgesetzt. Neben den Gründen unbefriedigende Selektionsverfahren (Hentrich, 1966), extrem

hohe Wurzelmassen (Garkavyj et al., 1972) und hoher methodischer Aufwand spricht vor allem gegen den Parameter, daß wenige dicke Wurzeln und zahlreiche feine zwar das gleiche Gewicht haben können, aber in der aktiven Wurzeloberfläche und damit im Aufnahmevermögen stark differieren.

Von den Vf. wurden deshalb Methoden zur Erfassung morphologischer und Leistungsparameter der Pflanzenwurzeln entwickelt und auf ihre routinemäßige Anwendung geprüft. In der vorliegenden Arbeit sind Ergebnisse aus Tests mit Wildformen, Landsorten und Hochleistungssorten der Sommergerste auf Wurzelparameter in der Jugendentwicklung beschrieben. Die Eignung solcher Prüfvarianten zur Differenzierung und Identifizierung von LIG wird diskutiert.

Tabelle 1: Zur Prüfung auf Wurzelparameter verwendete Sommergerstenformen und -sorten

Nr.	Bezeichnung	Land
<u>Wild- und Landsorten</u>		
1	Landsorte	Nepal
2	Linie	Pakistan
3	Landsorte	Nepal
4	Mutation	Pakistan
5	Primitiv	Indien
6	Wild	Indien
7	Population	Pakistan
8	Landsorte	Äthiopien
9	Landsorte	Yemen
<u>Hochleistungssorten</u>		
10	Trumpf	Züchter der alten Bundesländer
11	Beate	
12	Lerche	
13	Princesse	
14	Anne	
15	Derkado	Züchter aus dem Beitrittsgebiet
16	Salome ungebeizt	
17	Salome gebeizt	

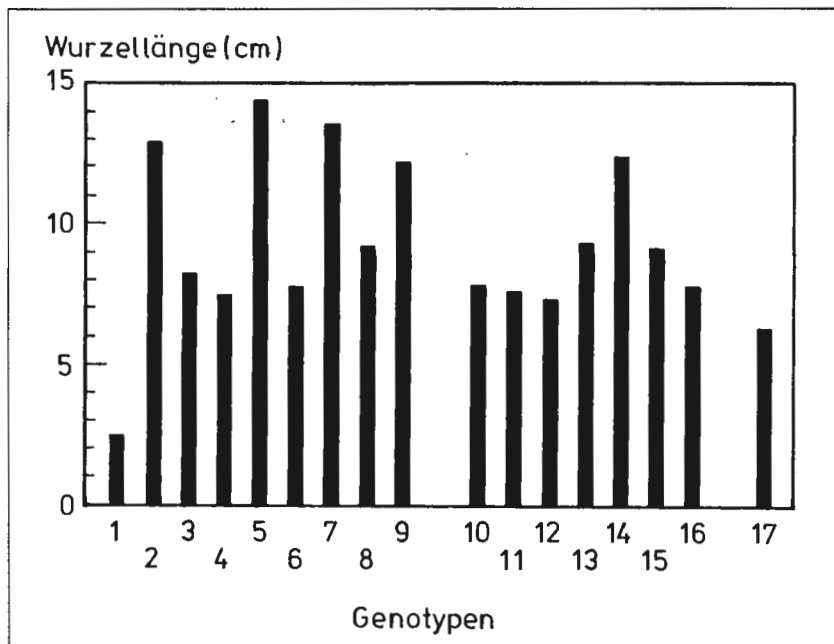


Abbildung 1: Länge der längsten Hauptwurzel, Wild- und Land- sowie Hochleistungssorten der Sommergerste: Prüfverfahren Keimtest

2. Material und Methoden

Das Saatgut für die Prüfung der 16 Sommergerstengenotypen und -herkünfte stammt aus dem Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL). 9 Wild-, Primitiv- und Landsorten (WLS) und 7 Hochleistungssorten aus Deutschland wurden in die Untersuchungen einbezogen (Tab. 1).

Die Sorte Salome kam in gebeizter und ungebeizter Form zur Anwendung.

Von Pflieger, Schulze und Unger (1990) wurde ein Laborscreening zur Charakterisierung morphologischer Wurzelparameter bei Jungpflanzen entwickelt. Die Bestimmung der Parameter längste Hauptwurzel, Anzahl der Nebenwurzeln, Wurzel-TM und die Sproßparameter Sproßlänge und -TM erfolgte mittels Keimtest in Petrischalen mit 9 cm Durchmesser. In die mit 50 cm³ Ballotinis (Fraktion 1,6 - 2,5 mm Durchmesser) und 15 ml steriler Nährlösung gefüllten 2 Schalen je Sorte wurden jeweils 25 SG-Samen gelegt und bei Raumtemperatur über 9 Tage unter Bechergläsern kultiviert. Von den 50 möglichen Keimwurzelsystemen kamen bei den Hochleistungssorten im Mittel ≥ 30 zur Auswertung. Aufgrund der geringeren Keimfähigkeit der Wild- und Landsorten beziehen sich die Ergebnisse hier auf 18 - 30 Keimwurzelsysteme.

Die Auswertung erfolgte noch durch manuelles Messen und Zählen. Zukünftig wird zur Erfassung der Gesamtwurzelfläche eine Eigenentwicklung der automatischen Bildverarbeitung genutzt.

Als ein Leistungstest für die Pflanzenwurzel wurde das Penetrationsvermögen in die Untersuchungen einbezogen. Nach der Methode von Schulze, Unger und Körbs (1989) erfolgte der Einbau von 0,6 mm dicken Wachsschichten mit vier unterschiedlichen Penetrationswerten in 14 cm Tiefe der Bodensäulen in den Labor-Glasröhren (Methode beschrieben bei Unger und Pflieger, 1987). Die Dichte des eingefüllten Boden-Quarzsand-Gemisches (1:1, Krumenboden einer Löß-Fahlerde) betrug 1,35 g/cm³. In zwei Versuchsansätzen über jeweils 36 Tage wurden mit 7 Wiederholungen

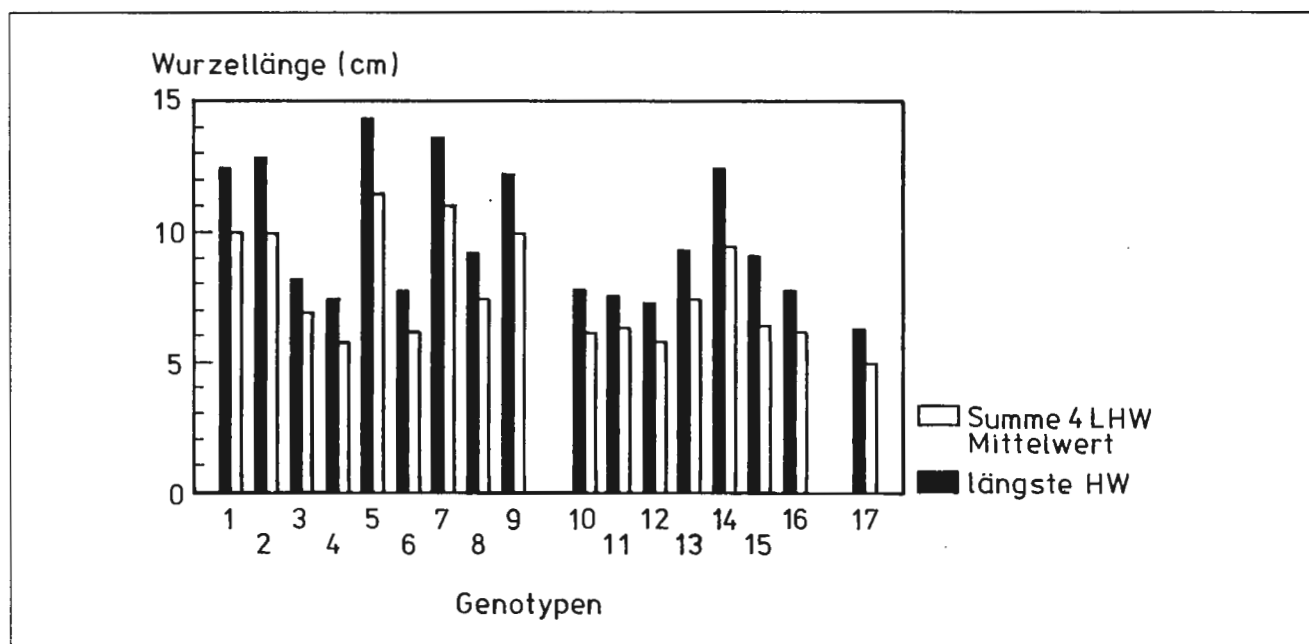


Abbildung 2: Vergleich der Parameter Länge der längsten Hauptwurzel und Summe der 4 längsten Hauptwurzeln

die 7 Hochleistungssorten aus Deutschland auf die Anzahl der Wurzelporen in den Wachsschichten getestet.

3. Ergebnisse

3.1 Differenzierung von SG-Genotypen mittels morphologischer Wurzelparameter

Am Parameter Länge der längsten Hauptwurzel (LHW) sind nach einer Wachstumszeit von 9 Tagen in der Gruppe Wild- und Landsorten (1 ... 9, WLS) beachtliche Unterschiede zu erkennen (Abb. 1).

So ist die Hauptwurzel der Primitivsorte aus Indien (5) doppelt so lang wie die der Mutation aus Pakistan. Vier dieser Sorten (3, 4, 6, 8) bildeten kurze, die anderen (1, 2, 5, 7, 9) lange HW aus. Weniger differenziert sind die LHW der 7 Hochleistungssorten. Mit Ausnahme von Anne entsprachen die anderen 6 eher den WLS mit kurzer Hauptwurzel.

Die Frage, ob bei der Ermittlung der Hauptwurzellänge die 4 längsten oder nur die längste Hauptwurzel bemessen werden sollte, kann anhand der Abbildung 2 eindeutig beantwortet werden. Der Vergleich bei der Parameter zeigt eine so gute Übereinstimmung, daß die weniger arbeitsaufwendige Erfassung der LHW ausreichend ist (Abb. 2).

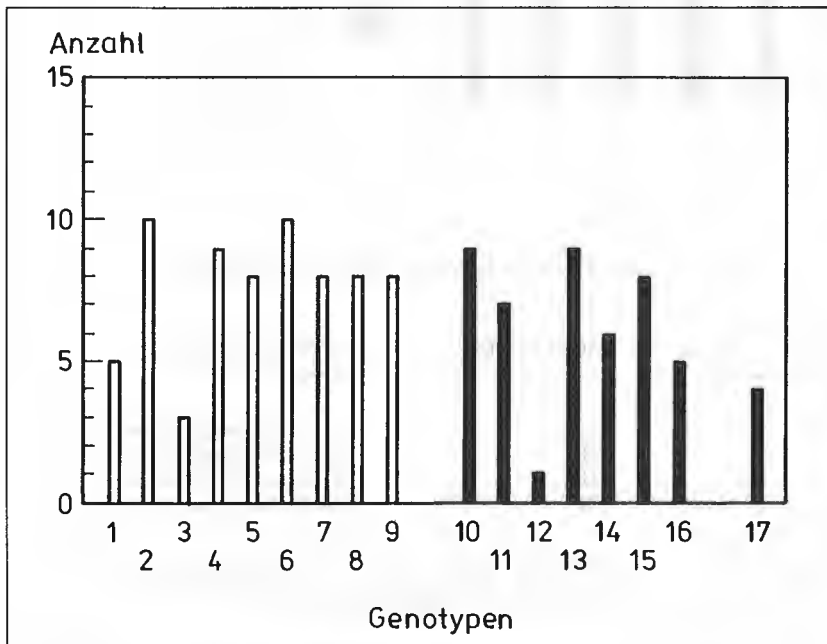


Abbildung 3: Anzahl der Nebenwurzeln

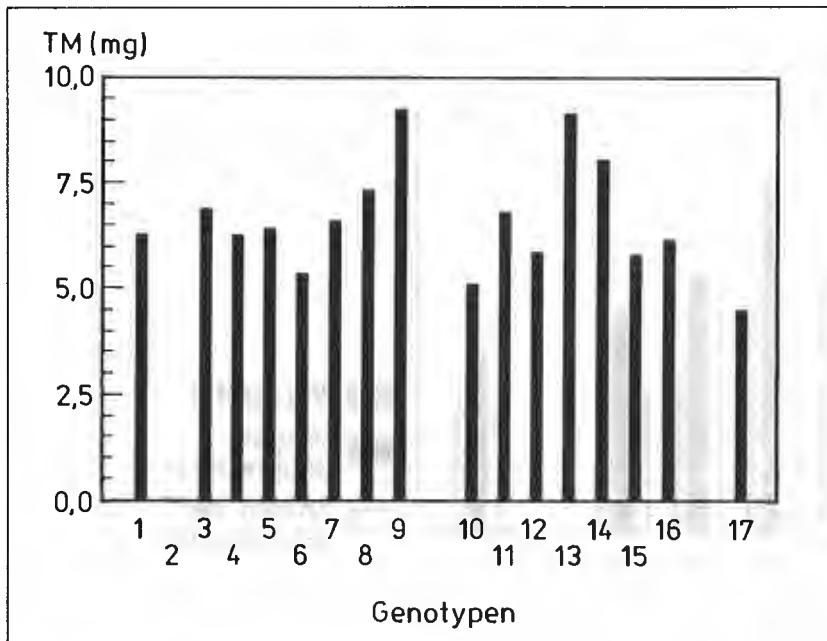


Abbildung 4: Wurzel-Trockenmasse

Ein stark differenziertes Bild vermittelt auch der Parameter Anzahl der Nebenwurzeln (Abb. 3).

Die weitaus größte Zahl der Sorten (10) hat in den 9 Tagen Entwicklungszeit bis zu 8 Nebenwurzeln ausgebildet. Die Hochleistungssorte Lerche und die Landsorte aus Nepal verzweigten sich mit im Mittel 1,1 bzw. 3,3 Nebenwurzeln dagegen nur schwach.

Ein ausgeglicheneres Bild liefert der Parameter Wurzel-TM, denn 12 der bestimmten Mittelwerte von 15 Sorten lagen im Bereich zwischen 5 und 7,5 mg TM/Pflanze. Lediglich die Landsorte aus Yemen und die Hochleistungssorten Princesse und Anne wiesen höhere Werte auf (Abb. 4).

Die insgesamt große Differenziertheit in der Ausbildung der Wurzeln im Jugendstadium zwischen Sorten der gleichen Pflanzenart wird aus der Gegenüberstellung der drei Parameter Anzahl der Nebenwurzeln, längste Hauptwurzel und Wurzel-TM sichtbar (Abb. 5 und 6).

Besonders zwischen den WLS (Abb. 5) bestehen beachtliche Unterschiede. Aber selbst innerhalb einer Sorte weichen die Einzelparameter stark voneinander ab (1, 5, 7, 9). Geringe Unterschiede weisen die Parameter der Sorten 4, 6 und 8 auf. Eine Beziehung zwischen den Meßgrößen ist kaum ableitbar.

Das Bild der Hochleistungssorten ist trotz einiger Extreme (12 und 14) wesentlich ausgeglichener. So lagen von den 21 Werten der 7 Sorten 19 im Meßbereich zwischen 5 und 10.

Zu beachten sind die geringen Unterschiede zwischen den 3 Meßgrößen bei Beate (11) und Princesse (13), wobei das Meßwertniveau bei Princesse höher liegt. Aus dem Vergleich Salome ungebeizt (16) und gebeizt (17) ist abzuleiten, daß die Beizung unter den Bedingungen des Keimtests eine das Wurzelwachstum negativ beeinflussende Wirkung hatte.

Die ermittelten Sproßparameter Länge und TM stimmten bei den Hochleistungssorten sehr gut überein (Abb. 7).

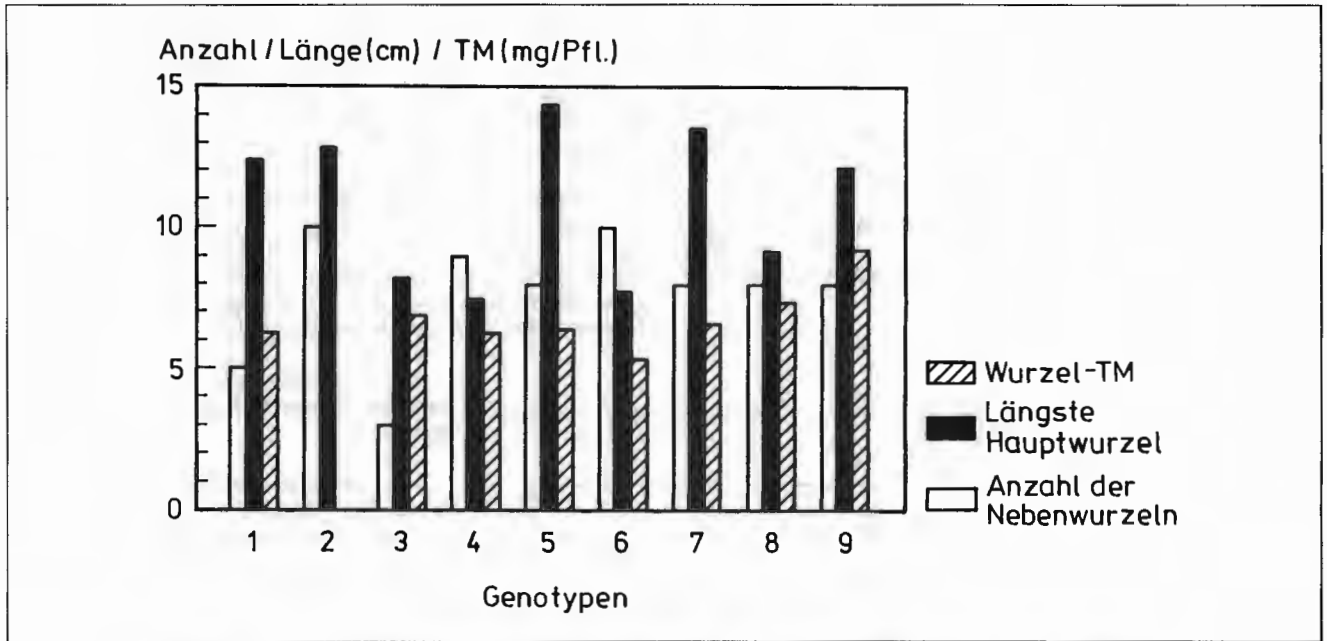


Abbildung 5: Vergleich der 3 ermittelten Wurzelparameter bei 9 Sommergersten, Wild- und Landsorten

Die Abweichungen bei den WLS waren, verglichen mit den Wurzelwerten - deutlich geringer. Auf die Sproßentwicklung blieb die Beizung ohne Einfluß.

Wachsschichten Gruppe

Penetrationswert in dmm

I	37,9 Eindringtiefe eines
II	27,6 Nadelpenetrometers
III	21,2 nach TGL 12622
IV	18,9 (100 g bei 25 °C in 5 sec.)

3.2 Unterschiede im Penetrationsvermögen der Wurzeln von Sommergerstensorten

Die zur Prüfung des Penetrationsvermögens der Sommergerstensorten in die Labor-Glasröhren eingebauten Wachsschichten unterschieden sich in ihren Penetrationswerten wie folgt:

Damit konnten mit den Wachsschichten I - IV differenzierte mechanische Widerstände in 14 cm Tiefe der Bodensäule mit 5 cm Durchmesser simuliert werden.

Die nach dem Bewertungskriterium "Durchwurzelungswiderstand der Wachsschicht" in Abbildung 8 dargestellten Er-

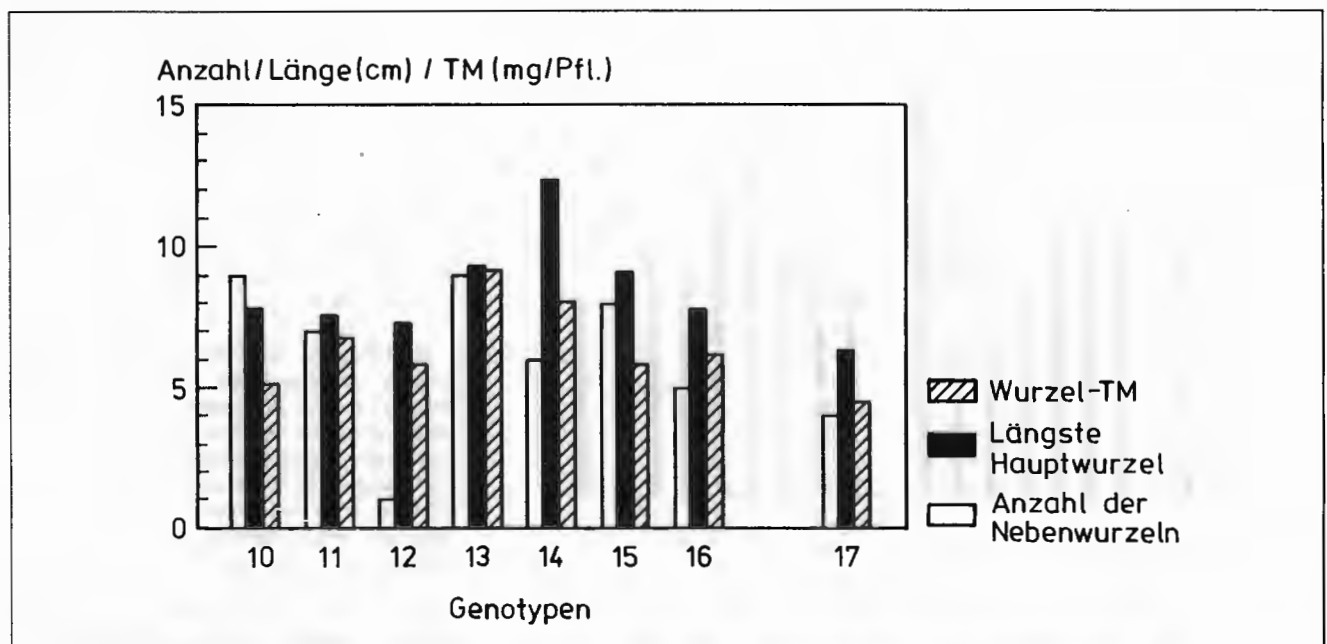


Abbildung 6: Vergleich der 3 ermittelten Wurzelparameter bei 7 Sommergersten-Hochleistungsorten

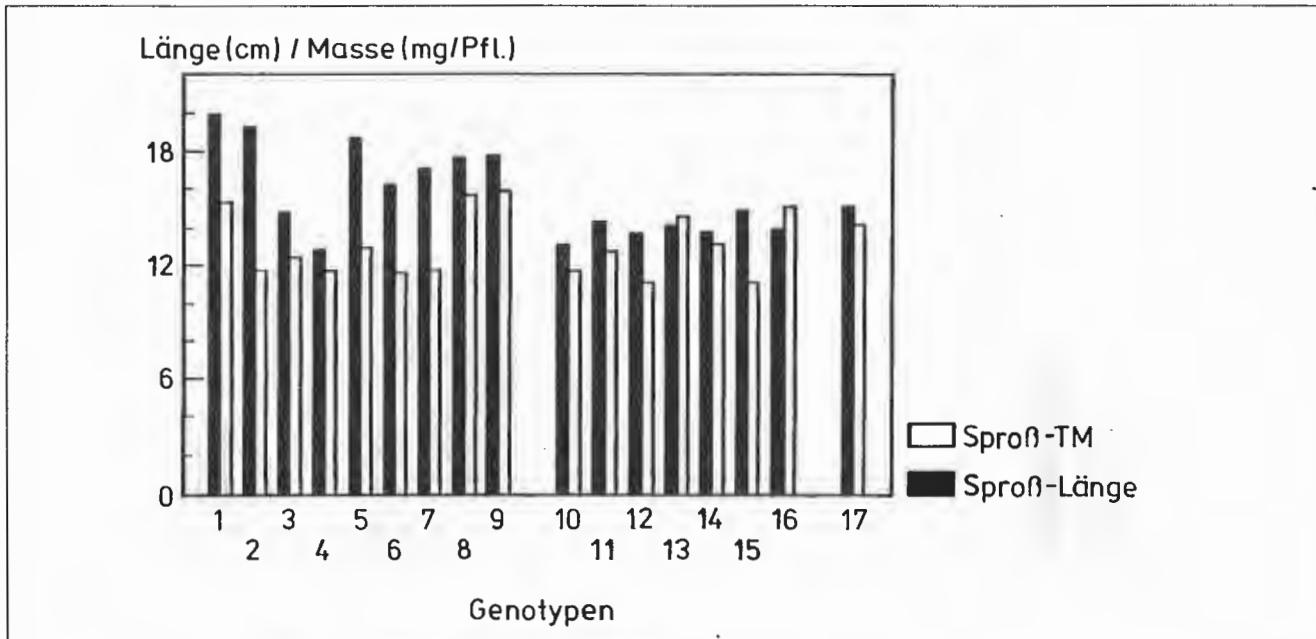


Abbildung 7: Sproßparameter Länge und Trockenmasse

gebnisse (Mittelwerte aus 7 Wiederholungen) lassen Reaktionen der Pflanzenwurzeln auf die mechanischen Widerstände erkennen. Mit zunehmendem mechanischen Widerstand nahm die Anzahl der Wurzelporen ab. Es wird aber auch sichtbar, daß sich die Sorten in ihrem Penetrationsvermögen deutlich voneinander unterscheiden. Die Wurzeln der Sorte Anne perforierten die Wachsschicht I mit dem geringsten Widerstand 3 mal häufiger als die Wurzeln der Sorte Salome. Selbst bei der Wachsschicht III mit dem zweithöchsten Durchdringungswiderstand traten gleich große Unterschiede zwischen Beate und Salome auf. Wenn auch für die Schicht IV nur wenige Wurzeln ausreichend Penetrationsvermögen zur Überwindung des Widerstandes besaßen, gibt es doch noch sortenabhängige Unterschiede.

In Abbildung 9 sind die gleichen Ergebnisse nach dem Bewertungskriterium 'Penetrationsvermögen der Sorten' geordnet. Danach kann der Sorte Beate die geringste Empfindlichkeit gegenüber mechanischem Widerstand bescheinigt werden. Lediglich zwischen den Wachsschichten III und IV trat bei Beate ein größerer Abfall der Porenzahlen ein, dennoch war die in der Wachsschicht IV ermittelte Porenzahl die höchste aller 7 Sorten. Die insgesamt geringsten Porenzahlen wurden von Salome erreicht. Die Sorte Anne erwies sich als sehr sensibel gegenüber der Wachsschicht II, paßte sich aber an höhere Widerstände besser an. Trumpf reagierte auf die Wachsschicht III mit einem beachtlichen Rückgang der Porenzahlen. Die Grenzwerte von Derkado und Lerche lagen zwischen den Schichten III und IV.

4. Diskussion der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die Tatsache, daß trotz der Bedeutung der Wurzelentwicklung für die Versorgung des Sprosses mit Wasser und Nährstoffen Wurzelmerkmale kaum als Selektionskriterien in der Pflanzenzüchtung genutzt werden, begründet Schwarz (1988) mit dem Fehlen geeigneter Schnellmethoden und ungenügenden Kenntnissen über die genotypische Variabilität der Wurzeln sowie über die Beziehung zwischen Wurzelwachstum und Ertragsbildung. Der gleiche Autor ermittelt über eine methodische Eigenentwicklung morphologische

Wurzelparameter an Hafer-Jungpflanzen unter Gewächshausbedingungen und setzt sie mit Ertragsergebnissen aus Feldversuchen in Beziehung. Dabei stellt er fest, "daß die Ertragsabweichungen kleiner ausfielen, wenn die Sorten und Stämme in den unteren Bodenschichten über eine noch ausreichende Bewurzelung verfügten" (Zit. Schwarz, 1988, S. 121). Auf eine vor allem ertragsstabilisierende Funktion eines weitverbreiteten und tiefreichenden Wurzelsystems weist auch Bergmann (1954) hin.

Die von Dambroth und El Bassam (1983) gegebene perspektivische Orientierung nach höherer Ertragsstabilität unter natürlichen ökologischen Bedingungen läßt Selektion und Züchtung auf Wurzelparameter als eine durchaus erwägbare Variante zu. Auch Gorny und Larsson (1989) beantworten die Frage nach einer Wurzelzüchtung durchaus positiv, wenn die dafür notwendigen methodischen Voraussetzungen geschaffen werden. In diesem Zusammenhang sind die Bemühungen um methodischen Fortschritt zu verstehen, die ein für den Züchter geeignetes Screening mit hohen Durchsatzraten zum Ziel haben.

Mit den hier vorgestellten ersten Ergebnissen über die Möglichkeiten zur Differenzierung von Sommergerstenformen und -sorten anhand morphologischer und Leistungsparameter der Wurzel wird nachgewiesen, daß bei relativ einheitlicher Sproßentwicklung beachtliche Unterschiede in der Wurzelmorphologie bestehen. Bei der Wahl eines zu ermittelnden Wurzelparameters muß man Wurzellänge und -verzweigung gegenüber der Wurzelmasse favorisieren. Am günstigsten ist die Bestimmung mehrerer Wurzelkennwerte.

Die neu in die Untersuchungen aufgenommene Methode der Erfassung des Penetrationsvermögens mittels differenzierter Wachsschichten, die in Bodensäulen eingebaut sind, weist gegenüber anderen Verfahren (Chaudary und Aggrawal, 1984; Taylor und Gardner, 1960) den Vorteil auf, daß die Penetrationskraft schon entwickelter Pflanzenwurzeln (bis zu 60 Tagen) und nicht nur der Keimwurzeln erfaßt werden kann. Um die bei den morphologischen und Leistungsparametern der Wurzeln nachgewiesene Variabilität

besser beurteilen und vergleichend bewerten zu können, wurden Rangfolgen für die Hochleistungssorten aufgestellt. Die Sorte mit dem niedrigsten Wert erhielt die Rangfolgezahl 1, die mit dem höchsten die 7. Aus den Rangfolgezahlen in Tabelle 2 wurde für jede Sorte die Summe gebildet. Der Ausgabewert der Summe der Rangfolgezahlen ist sicher dort am größten, wo zwischen den Parametern oder Werten nur geringe Differenzen auftreten. Das trifft bei den morphologischen Kennwerten auf die beiden Sorten zu: Princesse weist

mit Abstand den höchsten Summenwert und damit das bestentwickelte Wurzelsystem auf; ebenso eindeutig fällt die schlechteste Wertung für die Sorte Lerche mit dem Summenwert von 4 aus.

Zur Bewertung des Penetrationsvermögens wurden die Wurzelporenzahlen in den vier verschiedenen Wachsschichten mit Rangfolgezahlen versehen und ebenfalls die Summen für die Sorten gebildet. Die Sorte Beate erreichte mit 25 die

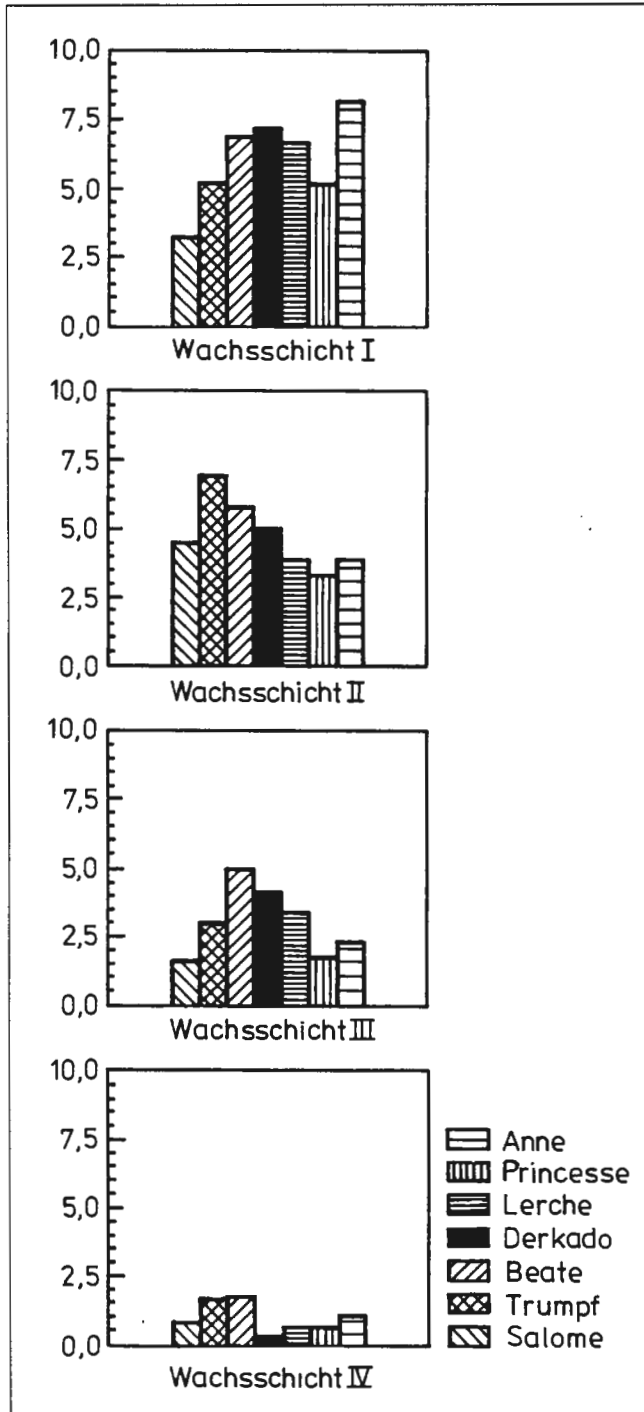


Abbildung 8: Anzahl der wurzelinduzierten Bioporen in den Wachsschichten; Bewertungskriterium "Durchdringungswiderstand der Wachsschicht", Mittelwerte aus 7 Wiederholungen

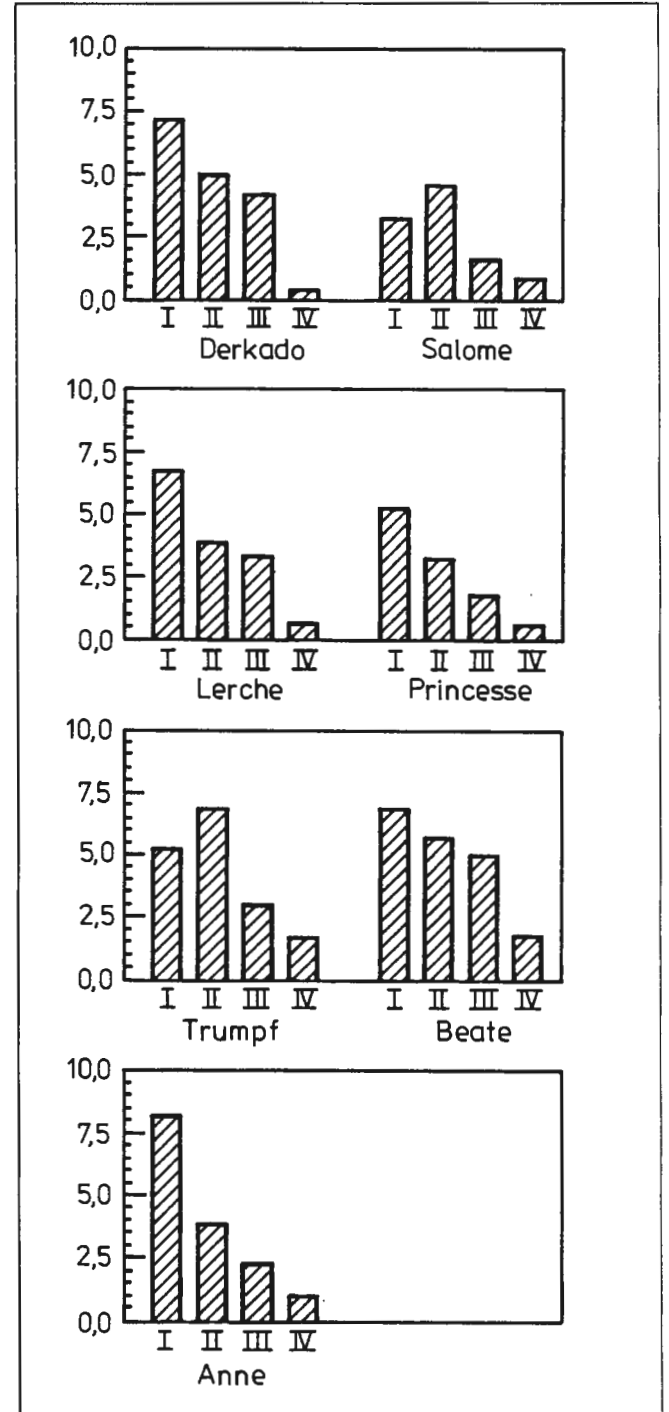


Abbildung 9: Anzahl der wurzelinduzierten Bioporen in den Wachsschichten; Bewertungskriterium "Penetrationsvermögen der Sorten", Mittelwerte aus 7 Wiederholungen

höchste Summe, was auf eine ausgeprägte Penetrationsleistung schließen läßt. Sehr empfindlich gegenüber mechanischem Widerstand scheint dagegen die Sorte Princesse zu sein, die im Penetrationsvermögen der 7 Vergleichssorten die letzte Position einnimmt.

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird deutlich, daß es zwischen den Sommergerstensorten beachtliche genetisch bedingte Unterschiede in der Entwicklung und Leistung der Wurzelsysteme gibt. Ob jedoch die Sorte Princesse mit dem im Keimtest ermittelten besten genetischen Potential für ein tiefreichendes und weitverzweigtes Wurzelsystem als Low-Input-Sorte zur Erschließung von Wasser- und Nährstoffreserven auf bindigen Böden mit intakter Struktur geeignet ist, läßt sich ohne weiterführende Untersuchungen nicht sicher aussagen. Die Sorte Beate überwindet von den 7 geprüften Hochleistungssorten mechanische Widerstände am besten. Sie könnte für den Anbau auf strukturgeschädigten Standorten geeignet sein. Entsprechende Prüfungen unter Modell- bzw. Feldbedingungen sollten eingeleitet werden.

6. Zusammenfassung

In dieser Arbeit sind Ergebnisse aus Tests mit Wildformen, Landsorten und Hochleistungssorten der Sommergerste auf Wurzelparameter in der Jugendentwicklung beschrieben, und die Eignung solcher Prüfvarianten zur Differenzierung und Identifizierung von Low-Input-Genotypen wurde diskutiert. Insgesamt wurden 16 Sommergerstengenotypen (Wildformen, Landsorten und Hochzuchtsorten) in die Untersuchungen einbezogen. Die Bestimmung der Parameter längste Hauptwurzel, Anzahl der Nebenwurzeln, Wurzeltrockenmasse und der Sproßparameter Sproßlänge und -trockenmasse erfolgte mittels Keimtest in Petrischalen. Als ein Leistungstest für die Pflanzenwurzel wurde die Penetrationsmethode eingesetzt. Bei der Wahl eines zu ermittelnden Wurzelparameters muß man Wurzellänge und -verzweigung gegenüber der Wurzelmasse favorisieren. Am günstigsten ist die Bestimmung mehrerer Wurzelkennwerte. Mit den hier vorgestellten Ergebnissen über die Möglichkeiten zur Differenzierung von Sommergerstenformen wird nachgewiesen, daß bei relativ einheitlicher Sproßentwicklung beachtliche Unterschiede in der Wurzelmorphologie bestehen.

Possibilities of differentiation and identification of genotypes by means of root parameters

A total of 16 genotypes of spring barley (wild species, land races and high yielding varieties) have been included in two different root tests: germination and penetration tests. The shoot growth of all genotypes was more or less homogeneous, but the investigated root parameters indicated big genotypic variations.

Although the length of the roots could be identified as a better indication for the characterization of the genotypes than the weight of the roots, the consideration of other root parameters, e.g. penetration capacity, will lead to better evaluation.

Tabelle 2: Rangfolgezahlen und -summen der morphologischen Wurzelparameter und der Porenzahlen in den vier unterschiedlichen Wachsschichten

Nr.	Hochleistungssorten	morpholog. Parameter				Summe d. Rangfolgezahlen	Penetrationsvermögen				Summe d. Rangfolgezahlen		
		LHW	Anz. Nebenwurzeln	Wurzel-TM	Summe d. Rangfolgezahlen		Wachsschichten Nr.						
						I	II	III	IV				
10	Trumpf	3	6	1	10	3	7	4	6	20			
11	Beate	2	4	5	11	5	6	7	7	25			
12	Lerche	1	1	2	4	4	3	5	2	14			
13	Princesse	6	7	7	20	2	1	2	3	8			
14	Anne	7	3	6	16	7	2	3	5	17			
15	Derkade	5	5	3	13	6	5	6	1	18			
16	Salome	4	2	4	10	1	4	1	4	10			

Literatur

Bergmann, W. (1954): Wurzelwachstum und Ernteertrag. - Z. Acker- und Pflanzenbau 97, S. 337-368.

Böhm, W. (1973): Wurzelwachstum und Ertragsbildung bei Körnerfrüchten. - Vorträge für Pflanzzüchter 13. Hrsg. DLG Frankfurt/M., S. 152-164.

Chaudary, M.R.; Aggarwal, G.C. (1984): A simple technique to evaluate the effect of mechanical stress on root growth. - J. Agric. Sci. Cambridge 1, S. 79-80.

Chloupek, O. (1976): The size of the root system of tetraploid red clover and its relation to the chemical composition of the herbage produced. - P. Brit. Grassl. Soc. 31, S. 23-27.

Dambroth, M.; El Bassam, N. (1983): Low-Input-Varieties: Definition, ecological requirements and selection. - Plant and Soil 72, S. 365-377.

El Bassam, N. (1983): Bedeutung der Wurzelforschung für die Pflanzenzüchtung, insbesondere zur Identifikation von Low-Input-Sorten. In: Root Ecology and its practical application. - Int. Symp. Gumpenstein, Irnding, S. 491-500.

El Bassam, N.; Sommer C. (1980): Eine Methode zur in situ-Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Wurzelnetzes von Genotypen. - Z. Acker- und Pflanzenbau 149, S. 391-397.

Gorny, A.G.; Larsson, S. (1989): New aspects in root breeding. - Votr. Pflanzenzüchtung 16, S. 339-356.

Kutschera, L. (1960): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. - Verl. DLG, Frankfurt/M.

Opitz von Boberfeld (1978): Möglichkeiten zur serienmäßigen Ermittlung sorten- und artenspezifischer Wurzelgewichte in verschiedenen Medien. - Habil.-schrift, Bonn.

Pfleger, I.; Schulze, R.; Unger, H. (1990): Labor-Screening zum Leistungsnachweis phytoeffektiver Mikroorganismen anhand von Wurzelparametern. - Z. Mikrobiol. (im Druck).

Schulze, R.; Unger, H.; Körbs, P. (1989): Möglichkeiten zur Bestimmung des Penetrationsvermögens der Pflanzenwurzeln und der Perforationsleistung mittels Wachsschichten. - Arch. Acker- und Pflanzenbau Bodenkd., Berlin 33, S. 759-766.

Schwarz, K.-U. (1988): Untersuchungen zur Entwicklung einer Serienmethode für die Bestimmung wurzelmorphologischer Merkmale als Grundlage der Selektion auf Ertragshöhe und Ertragsstabilität. - Diss. Kiel.

Taylor, H.M.; Gardner, H.R. (1960): Use of wax substrates in root penetration studies. - Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, S. 79-81.

Unger, H.; Pflieger, I. (1987): Über das Durchdringungsvermögen der Pflanzenwurzel. - Public. Soc. Nat. Romane pentru Stiinta Solului, Bucuresti, 23 A, S. 115-128.

Zobel, R.W. (1975): The genetic of root development. In: The development and function of roots (eds.): Torrey J.G. and Clarkson, D.T. - Acad. Press, London, S. 261-275.

Verfasser: Unger, Horst, Dr. sc.; Schulze, Ruth, Dipl.-Chem.; Pflieger, Ingrid, Dr., Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Thüringen, Sitz Jena.

El Bassam, Nasir, Dr. agr., Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL), Leiter: Professor Dr. Manfred Dambroth.