

G. A. L. MEHLQUIST: The mechanism responsible for some X-ray induced changes in flower color of the carnation, *Dianthus caryophyllus*. Amer. J. Bot. 44, 397–403 (1957). — 50. SANKEWITSCH, E.: Untersuchungen von Röntgenmorphosen bei *Nicotiana rustica* L. Beitr. Biol. Pflanzen 29, 1–74 (1953). — 51. SHAMEL, A. D., and C. S. POMEROY: Bud mutations in horticultural crops. J. Hered. 27, 487–497 (1936). — 52. SHARMA, K. D., and J. W. BOYES: Some effects of radiation of buckwheat. Canad. J. Bot. 40, 213–237 (1962). — 53. STEIN, E.: Untersuchungen über Radiomorphosen bei *Antirrhinum*. Z. Vererbungsl. 43, 1–80 (1926). — 54. STEIN, E.: Über Gewebe-Entartung in Pflanzen als Folge von Radiumbestrahlung (zur Radiomorphose von *Antirrhinum*). Biol. Zbl. 49, 112–126 (1929). — 55. STEIN, E.: Weitere Mitteilungen über die durch Radiumbestrahlung indu-

zierten Gewebe-Entartungen in *Antirrhinum* (Phyto-carcinome) und ihr erbliches Verhalten (Somatische Induction und Erbllichkeit). Biol. Zbl. 50, 129–158 (1930). — 56. STEIN, O. L., and D. M. STEFFENSEN: The activity of X-rayed apical meristems: a genetic and morphogenetic analysis in *Zea mays*. Z. Vererbungsl. 90, 483–502 (1959). — 57. THAUNG, M. M.: Stimulating effects of nuclear radiations on development and productivity of rice plants. Nature (London) 186, 982–983 (1960). — 58. VASILEV, J. M., and E. J. MASLOVA: Der Effekt der Röntgenbestrahlung auf die Meristemzellen des Weizenkeimlings (russ.). Dokl. Akad. Nauk SSSR 126, 1351–1353 (1959). — 59. WINKLER, E., and E. POHL: Die Wirkung von Gamma- und Röntgenstrahlung auf Assimilationsvermögen und Ertrag bei verschiedenen Kartoffelsorten. Wetter u. Leben 15, 181–195 (1963).

## Untersuchungen über das Wurzelwachstum von Getreidesorten und -arten unter verschiedenen Wachstumsbedingungen

W. HENTRICH

Institut für Pflanzenzüchtung Dornburg/Saale der Friedrich-Schiller-Universität Jena

### Investigations on root growth of cereal varieties and species under different growing conditions

**Summary.** Species and variety specific behavior of primary roots from 16 day old cereal plants were studied under different conditions in sand and water cultures. At the same time cereal assortments were tested for possible relationships between rootgrowth (length of all primary roots) and plant yield (genetic yield potential).

Roots are very sensitive to exogenous factors which influence their growth much more than do genetic ones. Though statistically significant differences in root growth were found in different varieties, their validity is questionable since the results were usually not reproducible. No correlation could be found between reproducible differences in root length/plant and plant yield. Root growth in sand cultures was greatly influenced by the amount of air in the culture medium.

In water culture experiments low concentrations of CO<sub>2</sub> were stimulating, but high concentrations inhibited root growth in direct proportion to CO<sub>2</sub> content. In numerous experiments no CO<sub>2</sub> resistant varieties were found, nor could any clear-cut differences in CO<sub>2</sub> sensitivity be demonstrated among different varieties.

The technical problems of root studies are discussed, along with their usefulness to selection in plant breeding.

### A. Einleitung

Die spezifische Bedeutung der Pflanzenwurzel für das Leistungsvermögen von Varietäten unserer Kulturpflanzen konnte bisher noch nicht überzeugend nachgewiesen werden. Aus diesem Grunde ist auch das Wurzelsystem in der Pflanzenzüchtung kaum ernsthaft als Selektionsmerkmal berücksichtigt worden. Obwohl vielfach angenommen wird, daß die Pflanzenenerträge mit dem Leistungsvermögen des Wurzelsystems korrelieren (ENGEL, 1964), stoßen Versuche, diese These experimentell zu erhärten, auf große technische Schwierigkeiten. Aus diesem Grunde fehlen in der Pflanzenzüchtung auch Serienverfahren, die eine Auslese nach Wurzelmerkmalen gestatten würden.

In der Literatur wird die Frage nach den Beziehungen zwischen Wurzelwachstum (WW) und Pflanzen-ertrag unterschiedlich beantwortet. SCHNEIDER (1912) fand in Gefäßversuchen (Kultur bis zur Reife)

mit 88 Hafersorten, daß die frühreifen Sorten bei hoher Ertragsfähigkeit ein kleines Wurzelsystem hatten, während die spätreifen Formen bei teils sehr geringer Ertragsleistung eine gute Bewurzelungsfähigkeit besaßen. Art- und sortenspezifische Unterschiede, die aber nicht mit der Ertragsleistung in Beziehung standen, beobachteten WALTER (1949) und PHILIPP (1954) bei Getreide, OSTERMANN (1931) bei Kartoffeln sowie WEAVER (1926) bei Zuckerrüben und Erbsen. KÖHNLEIN und VETTER (1953) berichten, daß der Wurzelhabitus in erster Linie von Umweltbedingungen geformt wird; die genetisch bedingten Unterschiede im Art- und Sortencharakter seien meist so gering, daß sie durch Umwelteinflüsse überdeckt werden.

Häufiger dagegen waren positive Auffassungen zum genannten Problem zu finden, wobei vor allem die Bedeutung der Wurzel für Resistenz der Pflanzen gegen Trockenheit betont wurde. OPITZ (1904) forderte schon um die Jahrhundertwende, bei der Züchtung auf eine stärkere und tiefstrebende Bewurzelung zu achten. Als Beispiel einer Sorte mit guter Bewurzelung nannte er die Hannagerste, die auch in trockenen Jahren relativ sichere und hohe Erträge bringt. Daß bei Trockenheit die extensiven Sorten auf Grund ihres besseren Wurzelsystems höhere Erträge als die Hochleistungssorten bringen, fanden KLÄSENER (1924) und OSTERMANN (1931) bei Kartoffeln, OPITZ (1904) bei Getreide und KAUTER (1933) bei verschiedenen Gräsern. Auch ROEMER und SCHEFFER (1951) weisen auf das dichte, tiefgehende und stark verzweigte Wurzelsystem der trockenresistenten Arten und Sorten hin. Ferner berichten SIMON, EICH und ZAJONZ (1957), GEISLER (1957), SANDHU und LAUDE (1958), daß bei Trockenheit der Wurzeltyp extensiver Formen dem der intensiven überlegen ist, und empfehlen der Züchtung, Sorten mit großem Wurzelsystem und hohem Ertrag zu züchten. ÅKERBERG (1964) fand in Schweden zwei Hafersorten, die bei trockenem Vorkommer unterschiedliche Erträge bringen. Die ertragreichere, dürreresistente Sorte bildet ein tiefwachsendes Keimwurzelsystem, die dürrereempfindliche dagegen mehr Kronenwurzeln aus. KIRIČENKO

(1963) hat Getreide- und Sonnenblumensämlinge in Reagenzgläsern kultiviert und nach 20 Tagen Wachstum Pflanzen mit starkem Wurzelsystem selektiert. Mit dieser frühen Prüfung war es möglich, ertragreiche Pflanzen aufzufinden, deren Nachkommen schaften positive Beziehungen zwischen Wurzelwachstum und Ertragsleistung gezeigt haben sollen.

Nach BERGMANN (1953) wird die Ertragsleistung und Ertragsicherheit der Pflanzen wesentlich von ihrer Bewurzelung im Jugendstadium und von ihrer Resistenz gegen auftretende Trockenheit bestimmt. Er stützt sich dabei auf WEAVER (1926), der behauptet, daß von der ersten Bewurzelung der Pflanzen der Erfolg oder Mißerfolg des Pflanzenwachstums bei auftretenden Trockenperioden abhängt. Auch nach WIELER (1932), KAMPE (1929), MICHAEL und BERGMANN (1954), SANDHU und LAUDE (1958) sowie SEWARD und SKOOG (1952) soll eine intensive Bewurzelung im frühen Entwicklungsstadium für die Höhe des Pflanzenertrages von besonderer Bedeutung sein.

Uns interessierte die Frage, ob im Jugendstadium von Getreidepflanzen unter verschiedenen Bedingungen (unterschiedliches Wasser- und Nährstoffangebot, vermindertes Porenvolumen, unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Konzentration u. a.) genetisch bedingte Sortenunterschiede im WW nachzuweisen sind und ob diese Unterschiede mit dem Leistungspotential der Sorten in positive Beziehung gebracht werden können. Durch den Nachweis einer derartigen Beziehung wäre es möglich, im Jugendstadium der Pflanzen das WW als Selektionsmerkmal für hohe Ertragsleistung heranzuziehen.

Tabelle 1. Mittlere Haupt-, Neben- und Gesamtwurzellänge sowie ihre Variabilität bei 6 Sommerweizensorten und 2 Wiederholungen mit je 10 Pflanzen.

| Sorte                  | Mittlere Länge |       |      |       |       | % Schwankung zwischen Wiederholungen |      |      |
|------------------------|----------------|-------|------|-------|-------|--------------------------------------|------|------|
|                        | HWL            |       | NWL  |       | GWL   | HWL                                  | NWL  | GWL  |
|                        | cm             | rel.  | cm   | rel.  | rel.  | 6                                    | 7    | 8    |
|                        | 1              | 2     | 3    | 4     | 5     |                                      |      |      |
| Peko                   | 86,7           | 100   | 22,8 | 100   | 100   | 13,1                                 | 51,5 | 25,6 |
| Janetzki fr. So-Weizen | 102,5          | 118,2 | 20,6 | 90,4  | 112,4 | 21,9                                 | 40,5 | 24,8 |
| Pusa                   | 89,9           | 103,7 | 13,4 | 58,8  | 94,3  | 9,3                                  | 9,6  | 7,0  |
| Luteszens              | 107,7          | 124,2 | 17,7 | 77,6  | 114,6 | 3,2                                  | 53,3 | 12,3 |
| Peragis                | 117,7          | 135,8 | 23,0 | 100,9 | 128,5 | 26,5                                 | 58,8 | 6,1  |
| Koga                   | 94,1           | 108,5 | 26,3 | 115,4 | 110,8 | 2,9                                  | 0,8  | 2,5  |
| Mittel                 | 99,8           |       | 20,6 |       |       | 12,8                                 | 35,8 | 13,1 |
| % Anteil               | 82,9           |       | 17,1 |       |       |                                      |      |      |

HWL = Hauptwurzellänge; NWL = Nebenwurzellänge; GWL = Gesamtwurzellänge.

### B. Versuchsmethodik

Die Beurteilung des WW erfolgte anhand der Länge aller Primär- oder Keimwurzeln von 14–16 Tage alten Keimpflanzen, die in 1250 cm<sup>3</sup> großen Glaszylindern angezogen wurden. Als Kulturmedium diente entweder Hohenbockaer Glassand (Sandkultur) — 1400 g Sand + 210 ml H<sub>2</sub>O/Gefäß (60% der Wasserkapazität) — oder Leitungswasser (Wasserkultur). In jedes Gefäß wurden 10 Samen ausgelegt, die bei Wasserkultur auf ein PVC-Netz zu liegen kamen, das 0,5 cm oberhalb des Wasserspiegels befestigt war. Die Gefäße wurden je nach Versuchsfrage im Gewächshaus (18–20 °C) oder in temperaturkonstanten Räumen bei künstlicher Beleuchtung (~5000 Lux) gehalten. Falls Nährstoffe gegeben wurden, ist die Nährlösung nach BERGMANN (1953) zusammengestellt worden und enthielt je Liter H<sub>2</sub>O: 1 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 1 g CaCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O; 1 g KNO<sub>3</sub>; 0,5 g MgSO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O; 0,5 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> · 7 H<sub>2</sub>O und 0,5 cm<sup>3</sup> einer 1%igen FeSO<sub>4</sub>-Lösung. Einzelheiten der Versuchsanordnung werden jeweils den Besprechungen der Versuche vorangestellt. Für die statistische Auswertung (Varianzanalyse) sind die einzelnen Varianten stets in mehrfacher Wiederholung (Gefäße mit je 10 Pflanzen)

geprüft worden. Der verwendete Begriff Wurzellänge/Pflanze bezieht sich auf die Summe der Längen der Primärwurzeln.

### C. Ergebnisse

#### I. Einfluß von Korngröße bzw. -gewicht und Vorkeimung der Samen auf die Variabilität der Wurzellängen

Bevor das sortenspezifische Verhalten der Wurzeln an größeren Sortimenten geprüft werden konnte, war es erforderlich, methodische Fragen hinsichtlich der Beeinflussbarkeit des WW zu klären. Hierbei folgten wir im wesentlichen BERGMANN (1953), dessen beschriebene Methodik (Sandkultur) als Grundlage für unsere Versuche mit züchterischer Zielsetzung diente.

Die Ergebnisse der ersten Testversuche ließen bereits die hohe Empfindlichkeit der Getreidewurzel gegenüber exogenen Faktoren erkennen. So waren in einem Versuch, in dem das WW von 6 Sommerweizensorten in Sandkultur geprüft wurde, die teils beachtlichen Sortenunterschiede in der Gesamtwurzellänge/Pflanze von maximal 34% statistisch nicht zu sichern, da — wie Tabelle 1 zeigt — die Unterschiede zwischen den Wiederholungen (Spalte 8) teils größer als zwischen den Sorten (Spalte 5) waren.

Die Länge der Nebenwurzeln war besonders variabel. Im Mittel aller Sorten schwankte sie zwischen den Wiederholungen um 35,8%, während die Länge der Hauptwurzeln nur um 12,8% variierte. Demnach scheint die Ausbildung von Nebenwurzeln besonders stark modifikativ bedingt zu sein, wodurch die Variabilität der Gesamtwurzellänge entscheidend beeinflußt wird. Im Interesse einer möglichst geringen Versuchsfehlervarianz und aus arbeits-technischen Gründen haben wir in den weiteren Versuchen von der zeitaufwendigen Erfassung der Nebenwurzeln Abstand genommen. Die Bedeutung der Nebenwurzeln für die Pflanze soll aber keineswegs unterschätzt werden. Ihr Anteil betrug bereits im Ein- bis Zweiblattstadium im Mittel aller Sorten 17% der Gesamtwurzellänge.

Als eine mögliche Variabilitätsursache der Wurzellängen kam die Korngröße in Betracht. Tabelle 2 enthält die Ergebnisse eines Versuches, in dem das WW der Sommerweizen-Sorten Peko und Peragis jeweils bei zwei verschiedenen Korngrößen und zwei unterschiedlichen Korngewichten untersucht wurde. In der Variante 4 bzw. 8 ist die entsprechende sortenspezifische TKM als Vergleich gewählt worden, um den jeweiligen Sortencharakter zu berücksichtigen.

Tabelle 2. *Einfluß von Korngröße und -gewicht auf die Wurzellänge/Pflanze und ihre Variabilität bei 2 So-Weizensorten in 6facher Wiederholung (Gefäße) mit je 10 Pflanzen.*

| Variante          | Wurzellänge/Pflanze |      |
|-------------------|---------------------|------|
|                   | rel.                | s%   |
| 1. Peko 2,5 mm    | 100 <sup>1</sup>    | 17,8 |
| 2. Peko 2,8 mm    | 97,4                | 24,0 |
| 3. Peko 47 mg     | 98,5                | 24,7 |
| 4. Peko 54 mg     | 102,0               | 23,7 |
| 5. Peragis 2,5 mm | 100,2               | 19,8 |
| 6. Peragis 2,8 mm | 106,7               | 22,3 |
| 7. Peragis 47 mg  | 114,1               | 21,2 |
| 8. Peragis 40 mg  | 103,1               | 21,8 |

<sup>1</sup> 61,5 cm = 100; GD<sub>5</sub>% = 16,9%.

Die beiden Sorten zeigten in allen Varianten keine signifikanten Unterschiede. Auch eine Wechselwirkung zwischen den Sorten und der Korngröße bzw. dem Korngewicht war statistisch nicht nachzuweisen.

Die anhand der Einzelwerte ermittelten Variationskoeffizienten (s%) waren in allen Varianten sehr hoch und bei den geprüften Kornfraktionen und Korngewichten nicht signifikant verschieden. Für die weiteren Untersuchungen konnten wir uns daher mit einer Kalibrierung des Saatgutes anstelle des Wiegens der einzelnen Samen begnügen.

Eine weitere Variabilitätsursache für die Wurzellänge war in der individuellen Keimbereitschaft der Samen zu suchen. Wir sind auch dieser Frage nachgegangen und fanden keine signifikanten Differenzen in der Variabilität nach Aussaat von trockenen und gleichmäßig vorgekeimten Samen, obgleich die Varianz bei den vorgekeimten Samen etwas höher war. Die entsprechenden Variationskoeffizienten (s%) betrugen 17,7% bei trocken und 21,8% bei vorgekeimt ausgelegten Samen.

## II. Das Wurzelwachstum unter „optimalen“ Bedingungen in Sandkultur

### 1. WW von Winterweizensorten

Das WW von 38 Winterweizensorten wurde in Sandkultur unter optimalen Bedingungen (mitteldichte Lagerung des Sandes bei einer Feuchtigkeit von 60% der Wasserkapazität) im Gewächshaus untersucht (Versuch A). Die mittlere Wurzellänge/Pflanze erreichte bei den einzelnen Sorten sehr unter-

Tabelle 3. *Relative Wurzellänge der von 38 Winterweizensorten ermittelten 6 „besten“ und 6 „schlechtesten“ Sorten in 2 Versuchen.*

| Sorte                  | Relative Wurzellänge |           | Rangfolge |           |
|------------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|
|                        | Versuch A            | Versuch B | Versuch A | Versuch B |
| Alpha                  | 139,1                | 105,0     | 1         | 6         |
| Ebersbacher Weiß       | 132,7                | 102,3     | 2         | 7         |
| Hohenauer Winterkolben | 138,6                | 105,7     | 3         | 5         |
| Criewener 104          | 125,1                | 102,1     | 4         | 8         |
| Heine II (neu)         | 122,4                | 95,0      | 5         | 9         |
| Tubeuf                 | 121,2                | 112,8     | 6         | 1         |
| Urtoba                 | 74,9                 | 106,3     | 33        | 4         |
| Kasan                  | 74,5                 | 76,6      | 34        | 12        |
| Hadmerslebener VIII    | 73,3                 | 107,2     | 35        | 3         |
| Martonowa              | 72,7                 | 91,4      | 36        | 10        |
| Dankowska              | 69,2                 | 107,8     | 37        | 2         |
| Ottenkull              | 51,5                 | 87,7      | 38        | 11        |

Versuch A: Versuchsmittel 49,7 cm = 100;

GD<sub>5</sub>% = 38,6%, GD<sub>1</sub>% = 51,8%.

Versuch B: Versuchsmittel 52,6 cm = 100; Differenzen nicht signifikant.

schiedliche Werte und schwankte von 25,6 cm (rel. 51,5) bis 69,1 cm (rel. 139,1) (Tab. 3). Um die Echtheit der Differenzen zu überprüfen, erfolgte eine Wiederholung des Versuches mit den 6 „besten“ (Rang 1–6) und den 6 „schlechtesten“ (Rang 33–38) Sorten (Versuch B). Die hier erhaltenen Sortenunterschiede (Tab. 3) waren wesentlich geringer und schwankten nur von 40,3 cm (rel. 76,6) bis 59,3 cm (rel. 112,8).

Wie Tabelle 3 zeigt, war das Verhalten der Sorten in beiden Versuchen widersprüchlich. Bezeichnet man die 6 „besten“ und die 6 „schlechtesten“ Sorten des ersten Versuches mit Rangzahlen von 1–12, so zeigt sich im Vergleich zum Versuch B keine Korrelation ( $\rho = 0,13$ ).

### 2. WW von Getreidearten

Innerhalb einer Art konnten keine echten, reproduzierbaren Unterschiede zwischen Sorten ermittelt werden. Es ergab sich daher die Frage, ob unter den gleichen Bedingungen zwischen Getreidearten Unterschiede im WW erfaßbar sind.

Die entsprechenden Versuche haben zwischen den geprüften Arten (Wi-Roggen, Wi-Weizen, So-Weizen, So-Gerste und Hafer) keine signifikanten Unterschiede in der Wurzellänge/Pflanze ergeben. Obwohl die Prüfung achtfach ( $8 \times 10$  Pflanzen) wiederholt worden war, ließ sich die Varianz der Versuchsglieder nicht sichern. Die größte Differenz in der Wurzellänge/Pflanze bestand zwischen Wi-Roggen und So-Weizen und betrug nur 17,5 cm (18%).

Somit waren bei optimalem Porenvolumen und Wassergehalt des Sandes weder zwischen Sorten noch zwischen Getreidearten Unterschiede im WW nachzuweisen. Es waren daher Bedingungen zu suchen, unter denen das WW der einzelnen Sorten möglicherweise stärker voneinander abweichen konnte. Von den geprüften Faktoren, wie unterschiedliches Wasserangebot, Porenvolumen, verschiedene Stickstoff-Formen und -Konzentrationen, unterschiedlicher Standardraum bzw. unterschiedliche Pflanzanzahl pro Gefäß, Abdichten der Versuchsgefäße durch Aufsetzen von Bechergläsern (Öffnung nach unten) oder Abdichten der Sandoberfläche mit Vaseline zum Zwecke der CO<sub>2</sub>-Stauung bzw. des O<sub>2</sub>-Mangels genügt es, wenn stellvertretend der Einfluß des Porenvolumens, des CO<sub>2</sub> und der N-Formen auf das WW näher betrachtet werden, da sich bei den anderen Versuchen keine für unsere Versuchsfrage wesentlichen Gesichtspunkte ergeben haben.

## III. Abhängigkeit des WW vom Porenvolumen des Sandes

### 1. Abhängigkeit des WW vom Porenvolumen bei Zugabe von Nährlösung mit und ohne Stickstoff

Nach BERGMANN (1953) bestehen enge Beziehungen zwischen dem WW und dem Porenvolumen sowie N-Gehalt des Nährmediums. Wir haben den Einfluß beider Faktoren auf das WW der Sommerweizensorte Koga geprüft. Der Versuch umfaßte 3 Nährlösungs-(NL)-Varianten und 4 verschiedene Poren- bzw. Gesamtvolumina, die durch unterschiedliches Einfüllen des mit H<sub>2</sub>O bzw. NL (210 ml) angefeuchteten Sandes (1400 g; spez. Gewicht 2,60) entstanden.

Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, verlief das WW in Abhängigkeit vom Porenvolumen des Sandes in allen

Tabelle 4. *Einfluß des Porenvolumens auf das WW von So-Weizen bei unterschiedlichem Nährstoffangebot.*

| Gesamt-<br>volumen   | Porenvolumen<br>% | H <sub>2</sub> O<br>WL/Pfl.<br>rel. | Nährlösung                                |  | Mittel<br>insges.<br>rel. |
|----------------------|-------------------|-------------------------------------|---|--|---------------------------|
|                      |                   |                                     | mit NO <sub>3</sub> -N<br>WL/Pfl.<br>rel. | ohne NO <sub>3</sub> -N<br>WL/Pfl.<br>rel. |                           |
| 1250 cm <sup>3</sup> | 40,1              | 100 (73,0 cm)                       | 100 (92,2 cm)                             | 100 (92,3 cm)                              | 100 (85,8 cm)             |
| 1050 cm <sup>3</sup> | 28,7              | 106,9                               | 105,1                                     | 106,9                                      | 106,3                     |
| 950 cm <sup>3</sup>  | 21,2              | 61,3                                | 68,6                                      | 61,8                                       | 64,1                      |
| 900 cm <sup>3</sup>  | 16,8              | 32,5                                | 27,2                                      | 36,6                                       | 32,1                      |
|                      | Mittel            | 100 (54,9 cm)                       | 126,3                                     | 128,1                                      |                           |

GD (Nährlösung) 5% = 10,2 cm. GD (Porenvolumen) 5% = 11,8 cm; 1% = 16,7 cm; 0,1% = 23,8 cm

NL-Varianten etwa gleich. Die Wurzellänge/Pflanze erhöhte sich im Bereich von 900 bis 1050 cm<sup>3</sup> stets proportional zum Gesamtvolumen, wobei 1050 cm<sup>3</sup> (28,7% PV) stets optimal waren. Es sei noch erwähnt, daß unter unseren Bedingungen 900 und 1250 cm<sup>3</sup> Gesamtvolumen bzw. 16,8 und 40,1% Porenvolumen die äußerst möglichen Grenzwerte des Volumens darstellten.

Nährlösungen haben bei allen Porenvolumina das WW signifikant gefördert. Ein Einfluß von NO<sub>3</sub>-Ionen ließ sich aber nicht nachweisen, da das WW in beiden NL-Varianten etwa gleichmäßig erhöht war. Ebenso bestand keine Wechselwirkung zwischen Porenvolumen und Nährstoffangebot.

Als Ursache für die Hemmung des WW bei vermindertem Porenvolumen kommen 3 Faktoren in Betracht: 1. der geringe O<sub>2</sub>-Gehalt, 2. der erhöhte mechanische Widerstand und 3. der mangelhafte Luftaustausch bzw. der dadurch bedingte CO<sub>2</sub>-Stau. Welcher der 3 Faktoren für die Hemmung des WW verantwortlich war, läßt sich nicht entscheiden. Sicherlich sind alle Faktoren wirksam geworden, wobei der Anteil jedes Faktors schwer abzugrenzen ist. Auf Grund unserer Erfahrungen scheint dem Sauerstoff- bzw. Luftgehalt die größere Bedeutung zuzukommen.

## 2. Das WW von Sommerweizensorten bei vermindertem Porenvolumen und unterschiedlicher Vegetationsdauer

Das WW von 32 geprüften Sommerweizensorten war bei vermindertem Porenvolumen von 21,2% (950 cm<sup>3</sup> GV) unterschiedlich. Wie aus Tabelle 5 her-

vorgeht, bestanden im Versuch 1 zwischen mehreren Sorten signifikante Differenzen, die in einem Wiederholungsversuch (Versuch 2) teilweise bestätigt werden konnten. Obwohl in der Rangfolge der 32 Sorten in beiden Versuchen Differenzen bestanden, war die Rangkorrelation  $\rho = 0,47$  mit P 5% zu sichern.

Da wir für ertragsanalytische Studien Sorten mit echten Unterschieden im WW benötigen, erfolgte im Versuch 3 eine Überprüfung der aus dem arithmetischen Mittel der Wurzellängen der Versuche 1 u. 2 ermittelten 5 „besten“ und 5 „schlechtesten“ Sorten (Tab. 5). Die Überlegenheit der Sorten Heines Japhet und Adlungs Alemannen gegenüber Carstens Sommerweizen und Lohmanns Weender ließ sich eindeutig bestätigen. Auch die Rangfolge der Sorten im Versuch 3 zeigt — verglichen mit ihrem Rang des arithmetischen Mittels von Versuch 1 und 2 — eine gute Übereinstimmung ( $\rho = 0,75$ ; P < 1%).

Für den Züchter ist es von Interesse, ob diese Unterschiede im WW mit der Ertragsleistung in Beziehung stehen. Offenbar ist dies nicht der Fall. Heines Japhet ist z. B. weniger leistungsfähig als die Sorte Heines Peko mit ihrer geringen Wurzellänge. Zur Frage, ob und wie lange die ermittelten Sortendifferenzen erhalten bleiben, wurden die Versuche auf 28 (Versuch 4) und 60 Tage (Versuch 5) Vegetationsdauer ausgedehnt.

Im Versuch 4 (Tab. 5) konnten bei längerer Wuchsdauer die obigen Ergebnisse nicht bestätigt werden. Die Rangfolge hat sich zwar etwas zugunsten der ertragreicheren Sorten verschoben, jedoch waren ihre Beziehungen zum Versuch 3 bei einem  $\rho = 0,55$  nicht zu sichern. Da die Unterschiede zwischen den

Tabelle 5. *Mittlere Wurzellänge der von 32 Sommerweizensorten ermittelten 5 „besten“ und 5 „schlechtesten“ Sorten in 4 Versuchen.*

| Sorten                     | Relative Wurzellänge/Pflanze |           |           |           | Rangfolge |           |           |           |
|----------------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                            | Versuch 1                    | Versuch 2 | Versuch 3 | Versuch 4 | Versuch 1 | Versuch 2 | Versuch 3 | Versuch 4 |
| 1. Heines Japhet           | 132,6                        | 120,0     | 116,7     | 102,7     | 1         | 2         | 1         | 4         |
| 2. Adlungs Alemannen       | 127,1                        | 112,4     | 111,6     | 105,7     | 2         | 6         | 2         | 2         |
| 3. Heines Peko             | 107,9                        | 115,4     | 95,9      | 110,9     | 10        | 4         | 8         | 1         |
| 4. Roter Sommerkolben      | 108,8                        | 118,9     | 96,9      | 98,2      | 7         | 3         | 7         | 8         |
| 5. Lohmanns galiz. Kolben  | 104,9                        | 121,1     | 111,3     | 104,7     | 12        | 1         | 3         | 3         |
| 6. v. Rümkers fr. Dickkopf | 88,2                         | 85,8      | 107,3     | 100,5     | 26        | 27        | 4         | 6         |
| 7. Mahndorfer Burgunder    | 90,0                         | 79,0      | 97,4      | 97,9      | 23        | 30        | 6         | 9         |
| 8. Heines Kolben           | 107,7                        | 72,4      | 102,7     | 101,1     | 11        | 32        | 5         | 5         |
| 9. Lohmanns Weender        | 87,5                         | 97,7      | 81,3      | 98,5      | 27        | 17        | 9         | 7         |
| 10. Carstens So-Weizen     | 78,9                         | 83,5      | 78,8      | 80,0      | 32        | 29        | 10        | 10        |

Versuch 1: 38,4 cm = 100  
GD<sub>5%</sub> = 26,3  
GD<sub>1%</sub> = 35,4  
GD<sub>0,1%</sub> = 47,0

Versuch 2: 32,7 cm = 100  
GD<sub>5%</sub> = 22,6  
GD<sub>1%</sub> = 30,5  
GD<sub>0,1%</sub> = 40,4

Versuch 3: 53,9 cm = 100  
GD<sub>5%</sub> = 18,0  
GD<sub>1%</sub> = 24,1  
GD<sub>0,1%</sub> = 31,5

Versuch 4: 68,7 cm = 100  
Differenzen nicht signifikant

Wurzellängen der Sorten nicht signifikant sind, erlauben sie keine Schlußfolgerungen.

Im Versuch 5 wurde das Längenwachstum der Wurzeln von 4 der in den vorhergehenden Versuchen geprüften Sorten bis zu einer Vegetationsdauer von 60 Tagen verfolgt, indem im Abstand von 10 Tagen die mittlere Wurzellänge/Pflanze der Sorten ermittelt wurde (Abb. 1). Im errechneten Gesamtmittel hatte die Sorte Peko mit relativ 100 das schlechteste WW, während die Sorte Adlungs Alemannen mit relativ 120 das beste WW hatte. Der Verlauf des WW dieser beiden Sorten zeigte nur nach einer Versuchsdauer von 20 und 50 Tagen eine signifikante Differenz von rund 42 bzw. 26% (Abb. 1).

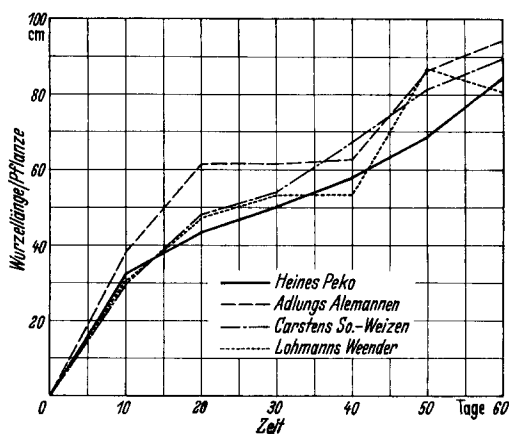


Abb. 1. Verlauf des Wurzelwachstums von 4 So.-Weizensorten bei 60tägiger Vegetationsdauer.

### 3. Prüfung der Wechselwirkungen zwischen Sorten, Porenvolumen und Nährstoffversorgung auf das WW

Wenn auch die frühzeitig erkennbaren Sortenunterschiede bei längerer Vegetationsdauer nicht nachweisbar waren und auch keine Beziehung zur Ertragsleistung zu erkennen war, so interessierte doch die Frage, ob bei kurzer Vegetationsdauer die Unterschiede zwischen den von 32 Sommerweizensorten in den beschriebenen Versuchen 1 und 2 ermittelten 5 „besten“ und 5 „schlechtesten“ Sorten auch unter

veränderten Bedingungen (Zusatz von Nährlösung bei unterschiedlichem Porenvolumen) erhalten bleiben.

Die varianzanalytische Verrechnung ergab eine hohe Signifikanz der Hauptwirkungen Sorten, Porenvolumen und Nährlösung. Wie die Zahlen der Tabelle 6 (Spalte 2–4) zeigen, bleiben — ungeachtet der anderen Prüfungsfaktoren — die Unterschiede zwischen den „besten“ (Nr. 1–5) und den „schlechtesten“ (Nr. 6–10) Sorten erhalten.

Das verringerte Porenvolumen von 21,2% gegenüber 28,7% hat bei unterschiedlicher Reaktion der Sorten im Mittel eine Hemmung des WW von rund 45% (Spalte 9) verursacht. Trotz dieser verschiedenartigen Reaktion und der signifikanten Wechselwirkung zwischen Porenvolumen und Sorten blieb die Rangfolge der Sorten ( $\rho = 0,73$ ) bei beiden Porenvolumina erhalten.

Viel stärker war die Interaktion zwischen Sorten und NL-Varianten. Das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Sorten gegenüber dem NL-Zusatz kommt sehr gut in der relativen Differenz zwischen den beiden NL-Varianten zum Ausdruck (Spalte 14). Erwartungsgemäß ist durch die stärkere Interaktion die Rangfolge der Sorten in beiden NL-Varianten stark abweichend ( $\rho = 0,16$ ), was bei einem Vergleich der Sorten Heines Japhet (Nr. 1) und Adlungs Alemannen (Nr. 2) besonders deutlich wird. Unter diesen Aspekten, nämlich der Wechselwirkungen zwischen Genotyp und verschiedenen Umweltfaktoren, ist es auch schwierig, unter Laborbedingungen eine Beziehung der Ertragsleistung zum WW zu finden, weil der natürliche Standort möglicherweise andere Reaktionen zur Folge haben könnte.

### 4. WW von Getreidearten bei unterschiedlichem Porenvolumen

Die aufgezeigten Wechselwirkungen sollten nicht überbewertet werden. Bei den Getreidearten hat sich nämlich keine signifikante Wechselwirkung zum Porenvolumen gezeigt (Tab. 7), obwohl die Hemmung des WW bei vermindertem Porenvolumen (21,2% gegenüber 28,7%) — ähnlich wie bei den Sorten — von 65% (Wi-Weizen) bis 44% (So-Gerste) schwankte.

Tabelle 6. Wurzelwachstum der „besten“ und „schlechtesten“ Sommerweizensorten und Vergleich der Wechselwirkungen Porenvolumen  $\times$  Sorten und Nährlösung  $\times$  Sorten.

| Sorten wie Tab. 5 | Vergleich der Sorten |          |      | Wechselwirkung Sorten $\times$ Porenvolumen |      |          |      |                  | Wechselwirkung Sorten $\times$ Nährlösung |      |          |      |                   |
|-------------------|----------------------|----------|------|---|------|----------|------|------------------|---|------|----------|------|-------------------|
|                   | WL/Pfl.              |          |      | 28,7% PV                                    |      | 21,2% PV |      |                  | ohne NL                                   |      | mit NL   |      |                   |
|                   | cm                   | rel.     | Rang | cm  | Rang | cm       | Rang | rel. zu 28,7% PV | cm  | Rang | cm       | Rang | rel. zu „ohne NL“ |
| 1                 | 2                    | 3        | 4    | 5   | 6    | 7        | 8    | 9                | 10  | 11   | 12       | 13   | 14                |
| 1                 | 69,1                 | 100      | 3    | 91,3  | 3    | 47,0     | 4    | 51,4             | 77,4                                      | 1    | 60,8     | 9    | 78,5              |
| 2                 | 75,4                 | 109,0    | 1    | 95,4  | 1    | 55,4     | 1    | 58,0             | 63,3                                      | 3    | 87,4     | 1    | 138,2             |
| 3                 | 61,2                 | 88,5     | 5    | 76,2  | 8    | 46,2     | 5    | 60,7             | 61,0                                      | 4    | 61,4     | 8    | 100,6             |
| 4                 | 65,3                 | 94,5     | 4    | 82,0  | 4    | 48,6     | 3    | 59,2             | 59,9                                      | 5    | 70,8     | 2    | 118,1             |
| 5                 | 71,4                 | 103,2    | 2    | 91,5  | 2    | 51,3     | 2    | 56,1             | 73,7                                      | 2    | 69,0     | 3    | 93,6              |
| 6                 | 59,0                 | 85,3     | 9    | 80,1  | 5    | 37,9     | 9    | 47,3             | 56,3                                      | 7    | 61,6     | 7    | 109,5             |
| 7                 | 59,6                 | 86,2     | 7    | 77,4  | 7    | 41,8     | 7    | 54,0             | 54,5                                      | 8    | 64,6     | 5    | 118,6             |
| 8                 | 60,4                 | 87,4     | 6    | 79,2  | 6    | 41,7     | 8    | 52,7             | 59,0                                      | 6    | 61,8     | 6    | 104,8             |
| 9                 | 59,5                 | 86,1     | 8    | 73,2  | 9    | 45,8     | 6    | 62,6             | 52,9                                      | 10   | 66,1     | 4    | 124,8             |
| 10                | 54,8                 | 79,3     | 10   | 71,9  | 10   | 37,8     | 10   | 52,5             | 53,4                                      | 9    | 56,2     | 10   | 105,3             |
| Mittel            | 63,6                 | 92,0     |      | 81,8  |      | 45,3     |      | 55,4             | 61,2                                      |      | 66,0     |      | 107,9             |
| GD                | 5%                   | = 3,6 cm |      | GD  | 5%   | = 5,4 cm |      |                  | GD  | 5%   | = 5,4 cm |      |                   |
|                   | 1%                   | = 4,9 cm |      |   | 1%   | = 7,2 cm |      |                  |   | 1%   | = 7,2 cm |      |                   |
|                   | 0,1%                 | = 6,4 cm |      |   | 0,1% | = 9,5 cm |      |                  |   | 0,1% | = 9,5 cm |      |                   |

Im Mittel war das WW der Getreidearten mit 52,4% gegenüber 44,6% bei den Sorten etwa gleich stark verringert worden.

Die mittlere Wurzellänge/Pflanze war bei Gerste und Roggen signifikant größer als bei Hafer, was bei beiden Porenvolumina recht gut zum Ausdruck kommt.

Tabelle 7. Wurzelwachstum von 5 Getreidearten bei 28,7 und 21,2% Porenvolumen.

| Variante     | 28,7% Porenvolumen     |         |       | 21,2% Porenvolumen     |                 |        |          |
|--------------|------------------------|---------|-------|------------------------|-----------------|--------|----------|
|              | Anzahl Wurzeln je Pfl. | WL/Pfl. |       | Anzahl Wurzeln je Pfl. | WL/Pfl. rel. zu |        |          |
|              |                        | cm      | rel.  |                        | cm              | Wi-Wz. | 28,7% PV |
| Winterweizen | 4,5                    | 105,2   | 100   | 5,0                    | 37,3            | 100    | 35,4     |
| Sommerweizen | 4,9                    | 99,8    | 94,9  | 5,5                    | 47,6            | 127,8  | 47,7     |
| Roggen       | 5,2                    | 109,0   | 103,6 | 5,7                    | 52,3            | 140,2  | 47,9     |
| Sommergerste | 6,4                    | 108,6   | 103,2 | 7,6                    | 60,9            | 163,4  | 56,1     |
| Hafer        | 5,2                    | 89,3    | 84,9  | 6,5                    | 45,8            | 122,9  | 51,2     |
| Mittel       |                        | 102,4   | 100   |                        | 48,8            |        | 47,6     |

GD (Porenvolumen): 0,1% = 15,0 cm  
 GD (Arten): 5% = 12,7 cm  
 1% = 17,4 cm  
 0,1% = 23,7 cm

Die mittlere Anzahl von Keimwurzeln war bei den Arten signifikant verschieden. Die meisten Wurzeln wurden von der Gerste, die wenigsten vom Weizen gebildet. Bei vermindertem Porenvolumen war die Zahl der Wurzeln je Pflanze stets erhöht worden, vor allem bei Hafer und Gerste. Offenbar haben die Pflanzen versucht, die Hemmung des Längenwachstums durch Neubildung von Wurzeln zu kompensieren. Ähnliche Tendenzen waren auch bei der Wirkung von CO<sub>2</sub> nachzuweisen.

Eine Hemmung des WW durch N ist somit nicht eingetreten. Dies zeigen auch Versuche mit Sommerweizen, obwohl nach BERGMANN (1953), dessen Methodik unseren Versuchen zugrunde lag, eine entsprechende Reaktion zu erwarten war. Zur Klärung dieser widersprechenden Ergebnisse wurde ein Versuch parallel unter gleichen Bedingungen (Samen,

Tabelle 8. Einfluß von NO<sub>3</sub>-N auf das Wurzelwachstum von Getreidearten.

| Art          | Nährlösung                                     |                                  |
|--------------|--|----------------------------------|
|              | ohne KNO <sub>3</sub> <sup>1</sup> WL/Pflz. cm | mit KNO <sub>3</sub> WL/Pflz. cm |
| Roggen       | 106,6  | 116,7                            |
| Sommerweizen | 117,8  | 99,2                             |
| Sommergerste | 146,2  | 124,1                            |
| Hafer        | 99,8   | 115,0                            |
| Mittel:      | 117,6  | 113,8                            |

<sup>1</sup> NO<sub>3</sub> wurde durch Cl ersetzt.

GDArten 5% = 14,8 cm  
 1% = 20,5 cm

Sand, Nährlösung) von 2 Personen (A und B) an 2 Standorten (I und II) mit Sommerweizen Koga durchgeführt. Die Ergebnisse (Tab. 9) zeigen große Unterschiede in Abhängigkeit vom Experimentator.

Am Standort I (Labor mit Kunstlicht) stimmten die Ergebnisse der beiden Versuchsansteller insofern überein, als beide eine Hemmung des WW durch N nachweisen konnten, wobei aber bei A die NO<sub>3</sub>-Form und bei B die NH<sub>4</sub>-Form stärker wirkte. Die doppelte

Tabelle 9. Die Wirkung von NO<sub>3</sub>- und NH<sub>4</sub>-Stickstoff auf das Wurzelwachstum von So-Weizen in 4 Versuchen. (2 Standorte und 2 Versuchsansteller.)

| Variante                      | Standort I     |                | Standort II    |                |
|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                               | A WL/Pfl. rel. | B WL/Pfl. rel. | A WL/Pfl. rel. | B WL/Pfl. rel. |
| Ohne NL                       | 100 (57,3 cm)  | 100 (80,8 cm)  | 100 (80,8 cm)  | 100 (105,9 cm) |
| NL mit NO <sub>3</sub> -N     | 67,5           | 92,2           | 81,4           | 116,5          |
| NL mit NH <sub>4</sub> -N     | 81,2           | 80,0           | 83,4           | 100,8          |
| NL ohne N                     | 147,9          | 116,4          | 97,2           | 87,8           |
| NL mit 2 x NO <sub>3</sub> -N | 74,6           | 77,0           | 81,6           | 115,6          |
| Mittel                        | 100 (54,0 cm)  | 139,3          | 100 (71,7 cm)  | 153,7          |
| GD <sub>5%</sub>              | 21,5           | 12,7           | Diff. nicht    | 17,6           |
| 1%                            | 36,3           | 20,9           | signifikant    | —              |
| 0,1%                          | 66,7           | —              | —              | —              |

#### IV. Einfluß von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff auf das WW

Im Gegensatz zu KÖHNLEIN und VETTER (1953) sowie ORTLEPP (1957) fand BERGMANN (1953), daß Nährstoffe, insbesondere Stickstoff und Phosphor, das Wachstum der Wurzeln hemmen. Wir haben ebenfalls die Wirkung von Nährstoffen, speziell Stickstoff, auf das WW getestet und erhielten unterschiedliche Ergebnisse. Nach Tabelle 8 differenzierte sich das WW der 4 Getreidearten in der Variante NL ohne KNO<sub>3</sub> stärker als bei Gegenwart von NO<sub>3</sub>-Stickstoff, obwohl die Interaktion zwischen Arten und Düngung nicht signifikant war und die mittlere Wurzellänge beider Varianten nur um 3,8 cm differierte.

NO<sub>3</sub>-Gabe hat gegenüber der einfachen nur im Versuch B stärker hemmend gewirkt.

Am Standort II (Gewächshaus) war in dem von A angesetzten Versuch in allen N-Varianten eine Hemmung des WW eingetreten, während bei B durch NO<sub>3</sub> eine Förderung zu verzeichnen war. Der unterschiedliche Verlauf des WW in Abhängigkeit vom Experimentator wird in Abb. 2 veranschaulicht.

Eine Erklärung für diese widersprechenden Ergebnisse ist schwer zu finden. Von besonderer Bedeutung ist zweifelsohne der subjektive, beim Einfüllen des Sandes entstehende Fehler. Die durch die beiden Experimentatoren verursachten Differenzen übertrafen die Einflüsse anderer Faktoren ganz erheblich.

Beispielsweise waren unter gleichen Bedingungen am Standort II in den beiden Varianten mit  $\text{NO}_3$ -Düngung die Wurzeln in den von B gefüllten Gefäßen doppelt so groß wie in den von A angesetzten (Abb. 2). Im Mittel aller Varianten waren im Vergleich beider Versuchsansteller die Wurzeln der

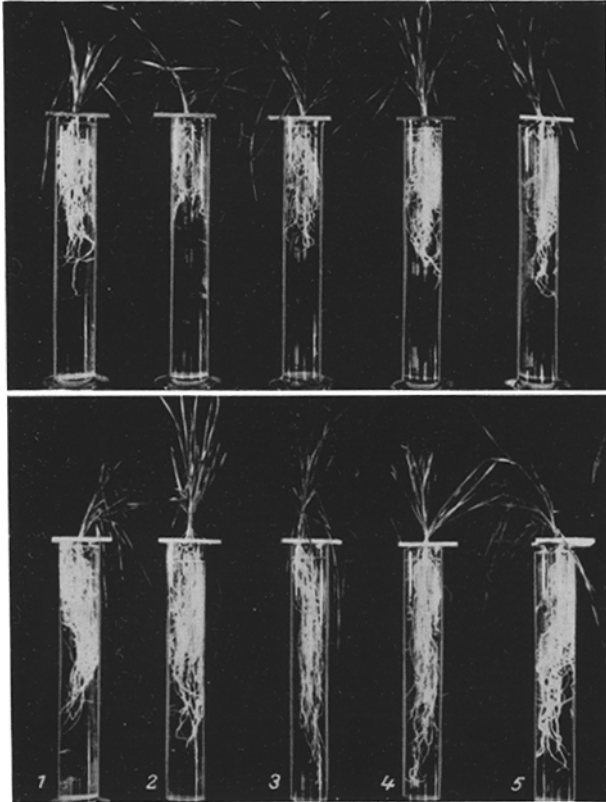


Abb. 2. Die Wirkung von  $\text{NO}_3$ - und  $\text{NH}_4$ -Stickstoff in Sandkultur auf das WW von So-Weizen in Abhängigkeit vom Versuchsansteller (A und B) am Standort II (Gewächshaus); oben: Versuchsansteller A, unten: Versuchsansteller B. 1 = ohne NL, 2 = NL mit  $\text{NO}_3$ -N, 3 = NL mit  $\text{NH}_4$ -N, 4 = NL ohne N, 5 = NL mit  $2 \times \text{NO}_3$ -N.

Pflanzen in den von B gefüllten Zylindern am Standort I um 39% und am Standort II um 54% länger.

Die Untersuchungen über die Wirkung von N-Formen demonstrieren in anschaulicher Weise die bei Wurzeluntersuchungen auftretenden technischen bzw. methodischen Schwierigkeiten. Sie deuten aber auch auf die Ursachen für die widersprechenden Angaben in der Literatur. Gesicherte Aussagen — auch für die eigenen Versuchsbedingungen — können nur nach wiederholter Reproduktion der Ergebnisse getroffen werden. Wegen der großen umweltbedingten Varianz der Wurzellängen ist für die Frage des Einflusses von Nährstoffen auf das WW von einer Sortenprüfung Abstand genommen worden.

## V. Einfluß von $\text{CO}_2$ auf das WW

### 1. Versuchsmethodische Untersuchungen

BERGMANN (1953), MICHAEL und BERGMANN (1954) fanden in ihren Untersuchungen über die Beeinfluss-

barkeit des WW, daß unter natürlichen Bedingungen die Atmungskohlensäure häufig der das WW begrenzende Faktor ist. Auf Grund dieser Annahme erschien es von Interesse, die Reaktionsweise der Wurzeln von Sorten und Arten auf ihre  $\text{CO}_2$ -Verträglichkeit zu studieren.

Die von BERGMANN angewandten Methoden, einen  $\text{CO}_2$ -Stau durch Luftabschluß (mit Hilfe von Vaseline oder Bechergläsern) oder durch erhöhte Saatstärke (25–40 Korn je Gefäß) zu erzwingen, brachten in unseren Versuchen nicht den gewünschten Erfolg. In den mit Bechergläsern abgedichteten Gefäßen war das Pflanzenwachstum infolge Sauerstoffmangels stark gehemmt (anaerobe Zersetzung bzw. Gärung der Blätter bei hoher Temperatur). In dem anderen Falle störte die Vaseline das Wachstum der Koleoptilen oder Blätter. Die Wirkung von  $\text{CO}_2$  konnte daher nicht eindeutig erkannt werden. Ähnlich war es auch, wenn dem Sand Aktivkohle beigemischt wurde, welche nach BERGMANN die  $\text{CO}_2$  in der Rhizosphäre absorbieren soll. Der Kohlezusatz (1–4% der Sandmenge) hatte stets eine Förderung des WW zur Folge, jedoch ließ sich die  $\text{CO}_2$ -absorbierende Wirkung der Kohle nicht beweisen, da die Kohle infolge ihres geringeren spezifischen Gewichtes ( $0,50 \text{ g/cm}^3$  gegenüber  $2,6 \text{ g/cm}^3$  beim Sand) auch eine Erhöhung des Porenvolumens im Nährmedium bewirkte. Gestützt wird diese Annahme auch durch Experimente, in denen ein Zusatz von PVC-Spänen oder -Mehl ( $0,48 \text{ g/cm}^3$ ) anstelle von Kohle eine Förderung des WW bewirkte. Auf die Wiedergabe dieser Ergebnisse und auf die Diskussion der Frage, ob das  $\text{CO}_2$  im Boden der das WW begrenzende Faktor ist, soll aber im Rahmen unserer züchterischen Problemstellung verzichtet werden.

Zum Studium der  $\text{CO}_2$ -Verträglichkeit von Varietäten war es erforderlich, nach einer technisch einfachen und leicht reproduzierbaren Methode zu suchen. Da  $\text{CO}_2$  in Wasser lösbar ist, ließ sich seine Wirkung auf das WW in Wasserkultur gut untersuchen. Sandkulturen schieden aus, weil das WW trotz Anfeuchten des Sandes mit  $\text{CO}_2$ -gesättigtem Wasser nicht beeinflußt wurde (Abb. 3). In dem ent-

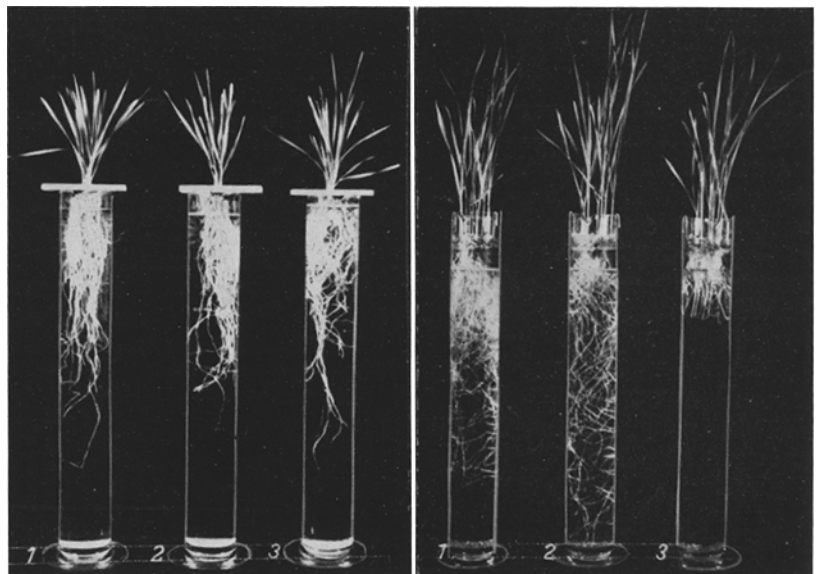


Abb. 3 und 4. Einfluß von  $\text{CO}_2$ -gesättigtem Wasser auf das WW von So-Weizen in Sand- und Wasserkultur. Abb. 3: Sandkultur, Abb. 4: Wasserkultur. 1 = Kontrolle (Leitungswasser), 2 = Wasser mit Luft gesättigt, 3 = Wasser mit  $\text{CO}_2$  gesättigt.







den Varianten 0, 30 und 60% CO<sub>2</sub>-Sättigung signifikant verschieden. Die geringste Wurzellänge besitzt stets Hafer, während die anderen Arten sich nicht eindeutig unterscheiden. Hinsichtlich der „CO<sub>2</sub>-Resistenz“ steht Gerste an erster Stelle. Gegenüber der Kontrolle ist bei einer CO<sub>2</sub>-Sättigung des Wassers von 30% ihr WW gefördert, bei 60% gleich geblieben und erst bei 90% CO<sub>2</sub>-gesättigtem Wasser schwach gehemmt worden. Welche Getreideart am empfindlichsten ist, läßt sich nicht entscheiden, da beispielsweise bei der höchsten CO<sub>2</sub>-Konzentration die Wachstumshemmung mit Ausnahme der Gerste nur von 43–56% schwankt.

Die Unsicherheit der erhaltenen Ergebnisse kommt wiederum sehr gut beim Vergleich der 3 Peko-Standards zum Ausdruck. Die Wurzellänge von Peko 1 nimmt proportional zur CO<sub>2</sub>-Konzentration ab, während das WW von Peko 2 bei einer CO<sub>2</sub>-Sättigung von 30% schwach gefördert und bei 60% CO<sub>2</sub>-Wasser nur relativ wenig gehemmt ist.

Auch dieser Versuch zeigt, daß statistische Signifikanzen bei Wurzeluntersuchungen keine einwandfreien Schlußfolgerungen zulassen. Nur eine mehrfache Reproduktion kann den Ergebnissen Sicherheit verleihen. Die Ursachen für das unterschiedliche WW in den einzelnen Gefäßen können — trotz konstanter Temperatur oder völlig gleichem Nährmedium — nur komplexer Natur sein und scheinen schwer erfaßbar.

#### 4. Einfluß gestaffelter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf das WW von Leguminosen und Sommerweizen

Die Mannigfaltigkeit der Wurzelsysteme sowie die verschiedenen Standortansprüche unserer Kulturpflanzen veranlaßten uns, einige Gattungsvertreter auf ihre CO<sub>2</sub>-Reaktion zu untersuchen. Die Abb. 5 zeigt, daß die Wurzellängen von Ackerbohne, Lupine, Erbse und Sommerweizen proportional zur CO<sub>2</sub>-Konzentration abnehmen. Auch das Sproßwachstum verringert sich mit zunehmender Dosis, wobei die Hemmung gegenüber der Wurzel relativ schwach und bei den einzelnen Arten stärker oder schwächer hervortritt.

Die Ackerbohne bildete eine Hauptwurzel mit zahlreichen langen Nebenwurzeln. Mit steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration verringerte sich die Hauptwurzellänge um 75%, die Anzahl Nebenwurzeln 1. Ordnung um 44% und die Gesamtlänge aller Nebenwurzeln um 60%. Dagegen war das Sproßwachstum relativ wenig gehemmt und erreichte bei 100% CO<sub>2</sub>-Sättigung noch 90% der Kontrolle. Die sehr schwache Korrelation zwischen Hauptwurzel- und Sproßlänge von  $r = 0,23$  war mit  $P 5\%$  zu sichern.

Die Lupine entwickelte eine starke Pfahlwurzel mit zahlreichen, aber im Vergleich zur Ackerbohne kurzen Nebenwurzeln. Ähnlich wie bei der Ackerbohne blieb die Hauptwurzel mit steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration bis zu 80% im Wachstum zurück. Die Zahl der Nebenwurzeln war bei 25% CO<sub>2</sub>-Sättigung um 60% erhöht, um dann mit steigendem CO<sub>2</sub>-Gehalt auf 22% im Vergleich zur Kontrolle abzufallen. Ähnlich lagen auch die Verhältnisse bei der Länge aller Nebenwurzeln 1. Ordnung. Der geringe CO<sub>2</sub>-Gehalt (25%) hatte stimulierend gewirkt, während gesättigtes H<sub>2</sub>O die Wurzeln um 77% verkürzte. Auch in diesem Falle war durch CO<sub>2</sub> das Sproßwachstum im Vergleich zur

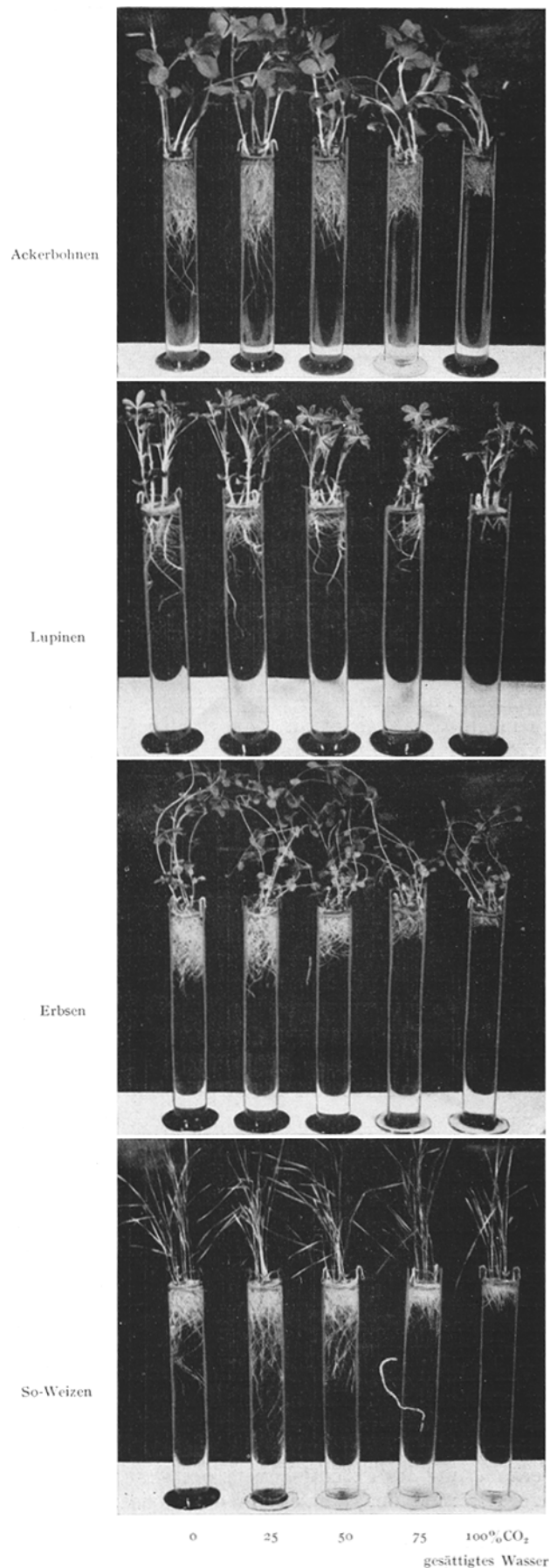


Abb. 5. Der Einfluß gestaffelter CO<sub>2</sub>-Konzentration auf das WW von Ackerbohnen, Lupinen, Erbsen und So-Weizen.

Wurzel relativ wenig gehemmt worden. Bei einem  $r = 0,29$  bestand eine mit  $P 5\%$  signifikante schwache Korrelation zwischen Hauptwurzel- und Sproßlänge.

Das Wurzelsystem der Erbse war dem der Ackerbohne ähnlich. Die Wirkung von  $\text{CO}_2$  auf das WW äußerte sich ebenfalls in einer dosisproportionalen Minderung der Hauptwurzellänge um  $75\%$ . Auch die Anzahl und Länge der Nebenwurzeln sowie die Länge des Sprosses waren durch  $\text{CO}_2$  verringert worden. Eine Beziehung zwischen Hauptwurzel- und Sproßlänge bestand aber nicht ( $r = 0,14$ ).

Die Gesamtwurzellänge erreichte beim Sommerweizen nicht die Werte der Ackerbohne. Sie war aber größer als die der Erbse. Die Wirkung von  $\text{CO}_2$  äußerte sich ähnlich wie bei den anderen Arten, wobei jedoch die Schädigung bei ausschließlicher Betrachtung der Gesamtwurzellänge relativ gering blieb. Die Primär- und Sekundärwurzeln wurden jeweils auf die Hälfte ihrer normalen Länge reduziert. Die geringe  $\text{CO}_2$ -Empfindlichkeit des Sommerweizens zeigte sich besonders in der  $25\%$   $\text{CO}_2$ -Variante, bei der sich keines der untersuchten Merkmale (Wurzellänge, -zahl, Sproßlänge) verändert hatte. In der Zahl und der Länge der Nebenwurzeln wurde sogar eine Stimulierung von etwa  $40\%$  ermittelt. Zwischen Wurzel- und Sproßwachstum bestand eine schwach signifikante Korrelation ( $r = 0,47$ ).

Die in diesem und auch in anderen Versuchen gefundene stimulierende Wirkung geringer  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen deckt sich mit den von verschiedenen Autoren mitgeteilten Ergebnissen (CHAPIN, 1902; GEISLER, 1963). STOLWIJK und THIMANN (1957) fanden, daß Wurzeln von *Avena sativa* und *Hordeum vulgare* bei Belüftung der Rhizosphäre junger Pflanzen mit  $6,5\%$   $\text{CO}_2$ -haltiger Luft in ihrem Wachstum nicht beeinflußt wurden, während das WW von *Pisum sativum*, *Phaseolus vulgaris*, *Vicia faba* und *Helianthus annuus* bei dieser Konzentration geschädigt wurde. Ein  $\text{CO}_2$ -Gehalt von  $0,5\%$  der Bodenluft bewirkte eine Stimulation des WW bei *Pisum sativum*. Nach GEISLER (1964) wirken in Wasserkultur  $100 \text{ mg CO}_2/\text{Liter}$  Nährlösung stimulierend auf das WW von Erbsen.

#### D. Diskussion der Ergebnisse

Die Pflanzenwurzel ist ein sehr empfindliches Organ, welches in seinem Wachstum stark durch nicht-genetische Faktoren beeinflußt wird. Das zeigen unsere Versuche, in denen die Reaktionsbereitschaft der Getreidewurzeln gegenüber Porenvolumen, Nährstoff- und Kohlendioxyd Gehalt des Nährmediums experimentell erfaßt worden war. Die genetische Reaktionsnorm der untersuchten Varietäten und Arten war meist wesentlich geringer als die durch exogene Faktoren verursachte Variabilität.

Von sehr großer Bedeutung und stets reproduzierbar erwies sich der Einfluß des Porenvolumens auf das WW in Sandkulturversuchen. Bereits eine sehr geringe, beim Füllen der Gefäße kaum bemerkbare Veränderung des Porenvolumens des Sandes bewirkt eine Reaktion der Wurzeln in der Weise, daß mit Verminderung des Luftanteiles das WW gehemmt und umgekehrt mit seiner Erhöhung das Wachstum der Wurzeln gefördert wird. Dieser durch den Experimentator bedingte subjektive Einfluß vergrößert einerseits die Variabilität des WW zwischen den

Wiederholungen der Versuchsglieder und kann sogar dazu führen, daß bei gleicher Versuchsanstellung in Parallelversuchen unterschiedliche, einander widersprechende Ergebnisse erhalten werden, wie es bei der Untersuchung des Einflusses von Nährstoffen auf das WW (vgl. Tab. 9) zum Ausdruck kommt.

In den Wasserkulturversuchen war die Variabilität der Wurzellängen ebenfalls durch den Einfluß unbekannter, exogener Faktoren sehr groß. Diese Experimente konzentrierten sich vor allem auf die Prüfung des Einflusses von  $\text{CO}_2$ , da nach MICHAEL und BERGMANN (1954) das  $\text{CO}_2$  im Boden ein wichtiger, das WW beeinflussender Faktor ist.

Die von uns angewandte Methode, bei der  $\text{CO}_2$  in  $\text{H}_2\text{O}$  bei konstanter Temperatur gelöst und je nach gewünschter Konzentration mit Leitungswasser gemischt wird, erlaubt eine relativ gute  $\text{CO}_2$ -Dosierung und gestattet — abgesehen von der  $\text{CO}_2$ -Wirkung — ein ungehindertes Pflanzenwachstum, was bei anderen Methoden ( $\text{CO}_2$ -Gasbelüftung oder  $\text{CO}_2$ -Stau in der Rhizosphäre durch Abdichten der Versuchsgefäße mit Vaseline oder Bechergläsern) nicht möglich ist. Abgesehen von einer geringen Stimulierung des WW bei schwacher  $\text{CO}_2$ -Konzentration war das WW durch  $\text{CO}_2$  stets dosisproportional gehemmt worden. Obwohl mit der Wasserkulturmethode zahlreiche Formen des Getreidesortimentes geprüft wurden, konnte keine „ $\text{CO}_2$ -resistente“ Sorte ermittelt werden. Sogar zwischen so verschiedenen Arten wie Leguminosen und Getreide bestanden keine eindeutigen Unterschiede in der  $\text{CO}_2$ -Empfindlichkeit.

Die Untersuchungen hinsichtlich der Beziehungen zwischen WW und Pflanzenertrag zeigten, daß die zweifelsohne in den Sortimenten vorhandene genetisch bedingte Variabilität im Ertragspotential (Samenleistung) sich im Längenwachstum der Wurzeln — auf Grund der starken Umweltmodifikationen — nicht widerspiegelte. In vielen Versuchen konnten zwar statistisch hoch signifikante Sortenunterschiede in der Wurzellänge ermittelt werden, jedoch mußte die Echtheit dieser Differenzen in Frage gestellt werden, da sie meist nicht reproduzierbar waren. In anderen Fällen wurden signifikante, reproduzierbare Sortenunterschiede gefunden, die aber nicht zur Ertragsleistung der Sorten in Beziehung gebracht werden konnten. Lediglich in einem Versuch wurden Tendenzen bezüglich der positiven Beziehung von WW und Pflanzenertrag angedeutet.

Aus den Ergebnissen ist zu folgern, daß exakte Untersuchungen an Wurzeln methodisch sehr schwierig sind. Sehr problematisch ist u. a. die Methodik der Erfassung des WW bzw. der Wurzeleistung. In unseren Versuchen wurden nur die Primärwurzeln der Pflanzen gemessen. Bekanntlich erhöht sich aber mit zunehmender Vegetationsdauer die Zahl und auch das Wachstum der Nebenwurzeln, wodurch ihre Bedeutung wesentlich zunimmt. Wie in Tabelle 1 angeführt, erreichte der Anteil Nebenwurzeln bei Sommerweizen nach 14tägiger Vegetationsdauer bereits  $17\%$  der Gesamtwurzellänge. In diesem Entwicklungsstadium ließ sich bei den gefundenen Sortenunterschieden keine Beziehung zur Ertragsfähigkeit der einzelnen Sorten herstellen. Eine Feststellung der gesamten Wurzellänge über längere Wachstumsperioden ist aber aus technischen Gründen nicht möglich, da bereits mit fortschreitender Entwicklung

eine immer stärker werdende Wurzelverzweigung oder Zunahme der Zahl der Nebenwurzeln einsetzt, die dann in der Gesamtwurzellänge nicht erfaßt werden können.

Eine weitere Möglichkeit, die Wurzeleistung über das Wurzelgewicht oder -volumen zu erfassen, ist technisch schwierig und auch problematisch. Bei Sandkulturversuchen kann der an den Wurzeln anhaftende Sand beim Auswaschen nicht entfernt werden. Der Sandanteil könnte zwar durch Rückwiegen nach Veraschen der Wurzeln ermittelt werden, jedoch muß u. E. das Wurzelgewicht kein Kriterium der Leistungsfähigkeit sein, da beispielsweise dicke Wurzeln mit einem hohen Gewicht weniger leistungsfähig sind als lange dünne Wurzeln mit relativ wenig Masse, aber großer Oberfläche.

Aussichtsreicher wäre es, wenn die gesamte Wurzeloberfläche erfaßt werden könnte. Hierzu ist von SSABININ und KOLOSSOW (1956) eine Methode vorgeschlagen worden, bei der mittels Absorption von Farbstoffen auf die Wurzeloberfläche geschlossen werden kann. Inwieweit diese Methode und auch die von verschiedenen Autoren (VAN LIESHOUT, 1959; RACZ et al., 1964) zum Studium des WW empfohlene Anwendung radioaktiver Isotope reproduzierbare, exakte Werte liefert, ist von uns nicht untersucht worden.

In unseren Versuchen konnte auch gezeigt werden, daß Wurzel- und Sproßwachstum auf äußere Einflüsse mit unterschiedlicher Intensität reagieren und oft nur lose Beziehungen zwischen beiden Merkmalen bestehen. Es ist daher denkbar, daß die Ertragsleistung von Sorten nicht in jedem Falle von der Ausbildung eines großen Wurzelsystems abhängig ist. Von der Vielzahl der Faktoren, welche das genetische Leistungspotential einer Sorte bestimmen, kann im Einzelfalle die Wurzeleistung der den Ertrag begrenzende Faktor darstellen. Sicherlich werden aber auch häufig andere Ursachen als Minimumfaktoren eine größere Bedeutung besitzen.

Anscheinend verfügen von den bei uns bedeutsamen Getreidesorten nur wenige über eine unterschiedliche Bewurzelungsfähigkeit. Wir sind daher auch — im Gegensatz zu einigen zitierten Autoren — nicht davon überzeugt, daß eine Selektion auf gutes Wurzelwachstum zu einem Züchtungserfolg führen muß. Eine Ausnahme könnte bei der Züchtung auf Trockenheitsresistenz bestehen, da auf trockenen Standorten das Leistungsvermögen der Wurzeln sicherlich eine entscheidende Bedeutung besitzt. Auf normalen oder guten Standorten kann man in Übereinstimmung mit BAUMANN und KLAUSS (1955) auch annehmen, daß maximales Wurzelwachstum auch stärkeres Abwandern von Assimilaten zur Bildung von Wurzeln zur Folge hat. So betrachtet, sollte züchterisch kein maximales Längenwachstum der Wurzeln erstrebt werden, zumal auch offenbar in vielen Fällen keine Parallele zwischen ober- und unterirdischem Pflanzenertrag besteht. Bereits SCHNEIDER (1912) gelangte bei der Untersuchung von 88 Hafersorten zu dem Ergebnis, daß großer Wurzelanteil, lange Vegetationsdauer und geringer Korn-ertrag Hand in Hand gehen. Dieser Befund besitzt keineswegs Allgemeingültigkeit, er wurde aber zitiert, weil er zeigt, daß das Wurzelwachstum mit vielen physiologischen Komponenten verbunden ist,

die im Rahmen künftiger ertragsphysiologischer Forschungen analysiert werden sollten.

Auf Grund der dargelegten starken Umweltmodifikationen erscheint es auch schwierig, ertragreiche Getreidesorten an Hand des Wurzelwachstums zu selektieren. Die gegenüber dem Genotyp sehr viel größeren positiven und auch negativen Wirkungen der Umwelt sollten im Interesse einer maximalen Ertragsbildung von acker- und pflanzenbaulicher Seite stärker beachtet werden. Für die praktische Züchtung sind Wurzeluntersuchungen als Selektionsmerkmal wegen des damit verbundenen Arbeitsaufwandes nur sinnvoll, wenn sie in frühen Stadien durchgeführt werden können und wenn eine allgemeingültige Beziehung zwischen Wurzelwachstum und Kornertrag überzeugend nachgewiesen wird. Solange diese Bedingungen nicht erfüllt sind, erscheint eine Analyse der oberirdischen Ertragsstruktur vorteilhafter als arbeitsaufwendige Wurzeluntersuchungen in späteren Entwicklungsstadien.

Die vorgelegten Ergebnisse über die Reaktionsweise und Beeinflußbarkeit der Wurzeln sollten nicht zuletzt die hohen Anforderungen an die Versuchsmethodik und an die kritische Analyse der Ergebnisse demonstrieren.

#### E. Zusammenfassung

Das art- und sortenspezifische Verhalten der Primärwurzeln von 14—16 Tage alten Getreidepflanzen wurde unter verschiedenen Bedingungen (unterschiedliches Porenvolumen der Sandfüllung, verschiedene CO<sub>2</sub>- und Nährstoffkonzentrationen) in Glaszylindern in Sand- und Wasserkultur untersucht. Gleichzeitig wurde an Getreidesortimenten geprüft, ob im Jugendstadium der Pflanze Beziehungen zwischen Wurzelwachstum (Länge aller Primärwurzeln) und Pflanzenertrag (genetisches Leistungspotential der Sorte) erkennbar sind.

Die Ergebnisse zeigen, daß die Pflanzenwurzel ein sehr empfindliches Organ ist, dessen Reaktionsbereitschaft gegenüber äußeren Faktoren weitaus größer ist als seine genetische Reaktionsnorm. Obwohl in einigen Versuchen statistisch signifikante Sortenunterschiede im Wurzelwachstum (WW) ermittelt wurden, mußte ihre Echtheit in Frage gestellt werden, weil die Ergebnisse meist nicht reproduzierbar waren. Andererseits ließen sich reproduzierbare Sortenunterschiede in der Wurzellänge/Pflanze nicht mit der Ertragsleistung in Beziehung bringen.

In Sandkulturversuchen war die Reaktion der Wurzeln auf das Porenvolumen besonders groß. Bereits eine sehr geringe, beim Einfüllen des Sandes kaum bemerkbare Veränderung des Porenvolumens beeinflusste das WW und vergrößerte die Variabilität der Versuchsglieder.

Der Einfluß von CO<sub>2</sub> auf das WW wurde in Wasserkulturversuchen studiert. Abgesehen von einer oft beobachteten schwachen Stimulierung bei geringen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigte das WW aller Getreidearten und -varietäten sowie Leguminosen durch CO<sub>2</sub> eine dosisproportionale Hemmung. Trotz umfangreicher Prüfungen konnten keine „CO<sub>2</sub>-resistenten“ Sorten ermittelt werden. Sogar zwischen Arten bestanden keine eindeutigen Unterschiede in der CO<sub>2</sub>-Empfindlichkeit.

Die versuchsmethodische Problematik der Wurzeluntersuchungen sowie ihre züchterischen Aspekte

werden diskutiert. Solange keine eindeutigen Beziehungen zwischen WW und Kornertragsleistung von Sorten nachgewiesen sind, erscheint eine Analyse der oberirdischen Ertragsstruktur sinnvoller als eine Selektion auf maximales Wurzelwachstum.

#### Literatur

1. ÅKERBERG, E.: Aktuelle Sortenfragen im heutigen schwedischen Pflanzenbau. Z. Acker- u. Pflanzenbau **121**, 29–48 (1964). — 2. BAUMANN, H., und M. L. KLAUSS: Über die Wurzelbildung bei hohem Grundwasserstand. Z. Acker- und Pflanzenbau **99**, 410–426 (1955). — 3. BERGMANN, W.: Wurzelwachstum und Ernteertrag. Z. Acker- u. Pflanzenbau **97**, 337–368 (1953). — 4. CHAPIN, P.: Einfluß der Kohlensäure auf das Wachstum. Flora **91**, 348–379 (1902). — 5. D'ANS, J., und E. LAX: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1949. — 6. ENGEL, K. H.: Methoden der Kartoffelzüchtung unter besonderer Berücksichtigung der Selektionsverfahren auf Leistung. Der Züchter **34**, 235–242 (1964). — 7. GEISLER, G.: Die Bedeutung des Wurzelsystems für die Züchtung dürreresistenter Rebenunterlagssorten. Ber. Rebenforsch. **1**, 14–31 (1957), Ref. Ldw. Zbl. Abt. II, 1959, 1515. — 8. GEISLER, G.: Morphogenetic influence of (CO<sub>2</sub> + -HCO<sub>3</sub>) on roots. Plant Physiol. **38**, 77–80 (1963). — 9. GEISLER, G.: Untersuchungen zum Einfluß der Bodenluft auf das Wurzelwachstum. Z. Acker- u. Pflanzenbau **118**, 399–410 (1964). — 10. KAMPE, K.: Studien über Bewurzelungsstärke und Wurzeindringungsvermögen verschiedener Kulturpflanzen. Inauguraldissertation Halle 1929. — 11. KAÜTER, A.: Beiträge zur Kenntnis des Wurzelwachstums der Gräser. Ber. d. Schweiz. Bot. Ges. **42**, 37–108 (1933). — 12. KLÄSNER, O.: Wurzelentwicklung verschiedener Kartoffelsorten nach den Verhältnissen des Göttinger Versuchsfeldes. J. f. Landwirtschaft. **72**, 65–102 (1924). — 13. KIRIČENKO, F. G.: Der Einfluß der Auslese der Pflanzen nach der Stärke des Wurzelsystems auf die Erhöhung des Kornertrages und die Verbesserung dieser Eigenschaften in der Nachkommenschaft (russ.). In: Vestnik selskochozjajstvennoj nauki, Moskau **4**, 3–20 (1963). — 14. KÖHNLEIN, J., und H. VETTER: Ernterückstände und Wurzelbild. Hamburg/Berlin: Parey 1953. — 15. VAN LIESHOUT, J. W.: De toepassing van radioactive isotopen, in het bijzonder van <sup>32</sup>P, bij het wortelonderzoek. Land-

bouwkund. Tijdschr. **71**, 22–29; 48–55 (1959), Ref. Ldw. Zbl. II 1959, 1860. — 16. MICHAEL, G., und W. BERGMANN: Bodenkohlensäure und Wurzelwachstum. Z. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde **65**, 180 bis 194 (1954). — 17. OPITZ, K.: Untersuchungen über Bewurzelung und Bestockung einiger Getreidesorten. Inaugural-Diss. Breslau 1904. — 18. ORTLEPP, H.: Studien über die Wirkung von Wachstumsfaktoren auf den Wurzelertrag (Experimentelle Wurzeluntersuchungen unter Freilandbedingungen). Kühn-Archiv **71**, 553–555 (1957). — 19. OSTERMANN, W.: Vergleichende morphologische und physiologische Untersuchungen am Wurzelsystem verschiedener Kartoffelsorten. Inaugural-Diss. Berlin 1931. — 20. PHILIPP, L.: Ein Beitrag zur Morphologie der Wurzel von *Avena sativa* L. Z. Acker- u. Pflanzenbau **97**, 71–100 (1954). — 21. RACZ, G. J., D. A. RENNIE, and W. L. HUTCHEON: The <sup>32</sup>P injection method for studying the root system of wheat. Canad. J. Sci. **44**, 100–108 (1964). — 22. ROEMER, TH., and F. SCHEFFER: Lehrbuch des Ackerbaues. Berlin: Parey 1951. — 23. SANDHU, A. S., and H. H. LAUDE: Tests of drought and heat hardness of winter wheat. Agron. **50**, 78–81 (1958). — 24. SCHNEIDER, G.: Vegetationsversuche mit 88 Hafersorten. Landw. Jahrb. **42**, 767–833 (1912). — 25. SEWARD, E. ALLEN, and FOLKE SKOOG: Stimulating of seedling growth by seed treatments with N-phenyl-succinimide derivatives. Plant Physiol. **27**, 179 bis 183 (1952). — 26. SIMON, W., und D. EICH: Probleme und Methoden der Wurzeluntersuchungen (unter besonderer Berücksichtigung leichter Böden). Z. Acker- u. Pflanzenbau **100**, 179–196 (1956). — 27. SIMON, E., D. EICH und A. ZAJONZ: Vorläufiger Bericht über Beziehungen zwischen Wurzelmenge und Vorruchwert bei verschiedenen Klee- und Grasarten als Hauptfrucht auf leichten Böden. Z. Acker- u. Pflanzenbau **104**, 71–88 (1957). — 28. SSABININ und KOLOSSOW: In: J. J. Gunara: Posschije dlja praktičeskich sanjati po fiziologije rastei. Moskva 1956. — 29. STOLWIJK, J. A., and K. V. THIMANN: On the uptake of carbon dioxide and bicarbonate by roots and its influence on growth. Plant Physiol. **72**, 513–520 (1957). — 30. WALTER, H.: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. Stuttgart: Eugen Ulmer 1949. — 31. WEAVER, J. E.: Root development of field crops. New York: McGraw-Hill Book Comp. 1926. — 32. WIELER, A.: Ein Beitrag zum Verständnis des Wesens der aktuellen Bodenazidität und ihres Einflusses auf das Wurzelwachstum. Jahrb. f. wiss. Bot. **76**, 333–406 (1932).

## Die Bedeutung der Samenschale für die Resistenz von Buschbohnsensorten (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus* Aschers.) gegenüber *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.)\* Bri. et Cav.

E. PRESSER

Institut für Pflanzenzüchtung Quedlinburg der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin

### The importance of the seed coat to resistance of dwarf bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus* Aschers.) against *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. et Magn.) Bri. et Cav.

**Summary.** The occurrence of bean anthracnosis is caused chiefly by the use of diseased seeds. It was, therefore, to be determined whether the seed coats of different bean varieties have an influence on resistance to *Colletotrichum lindemuthianum*.

1. Infections of white and colored mature bean seeds give different experimental results. Generally, seeds with colored seed coats did not show any susceptibility. Decoats of colored seed coats contain antifungal substances which doubtlessly inhibit the development of *C. lindemuthianum* on their decoats more than on those of white-seeded varieties.

2. This inhibition can be demonstrated not only by means of growth intensity studies, but also by the number of spores produced. The latter is inhibited more than is mycelial growth.

3. Fungistatic substances in the seed coats can be found in mature as well as in maturing seeds, at a time when the seed is not yet colored.

4. Infections of bean hypocotyls show that the susceptibility of herbaceous parts differs from seed susceptibility. Hypocotyls of some colored seed varieties are highly susceptible.

5. The possible usefulness of the inhibitory effect of colored seed coats in breeding of bean varieties is pointed out.

Ein Überblick über die bisher vorliegenden Arbeiten zum Problem der *Colletotrichum*-Resistenz bei Bohnen ergibt, daß der Beschaffenheit der Samenschale wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Das ist um so erstaunlicher, als über die Bedeutung

\* Quedlinburger Beiträge z. Züchtungsforschung Nr. 73.