

## ERTRAGSKURVEN UND ERTRAGSGESETZE.

Die gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsfaktoren und ihr Effekt  
auf die Form der Ertragskurven

VON

O. DE VRIES

(Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande).

Bekanntlich nahm J. VON LIEBIG in seinem Gesetz des Minimums an dass ein Wachstumsfaktor, der in Verhältnis zu den anderen im Minimum ist, den Ertrag beherrscht und beschränkt und dass steigende Gaben von diesem Wachstumsfaktor den Überschuss der anderen verbrauchen nach je einem festen Verhältnis, als ob eine chemische Verbindung mit konstanter Zusammensetzung gebildet würde. So bald der Überschuss eines der anderen Wachstumsfaktoren in dieser Weise erschöpft ist, kommt dieser ins Minimum und beherrscht den Ertrag; weiterer Zusatz vom ersten Wachstumsfaktor erhöht jetzt den Ertrag nicht mehr, die gradlinig ansteigende Linie geht mit einem scharfem Knick in eine waagerechte über (13).

Aber gleich wie vor einem Drittel Jahrhundert neben dem Reich der kristallinen Substanzen die Welt der kolloiden Materie sich der Wissenschaft öffnete und die Adsorptionsverbindungen mit je nach Umständen wechselnder Zusammensetzung sich neben den chemischen Verbindungen stellen, so konnte auch ein Gesetz des Minimums in dieser einfachen, strengsten Form nicht standhalten. G. LIEBSCHER (1) erkannte dass ein Einfluss der anderen Wachstumsfaktoren nicht ausser Acht gelassen werden kann und die Höhe des Ertrags bei einer bestimmten Menge des ersten Wachstumsfaktor mit beeinflusst; er gab diesem Befunde in seinem Gesetz des Optimums Ausdruck: der Anstieg durch steigende Mengen des ersten Wachstumsfaktors ist um so grösser (die Ertragskurve steigt steiler an) je nachdem die anderen Wachstumsfaktoren günstiger sind.

Ebenso wird der maximale Ertrag um so weniger steil abfallen, wenn ein Wachstumsfaktor vermindert wird, je reichlicher die anderen Wachstumsfaktoren vertreten sind.

Diese Streuung bedeutete einen merkbaren Voraugang über die einfache Liebig'sche Form des Ertragsgesetzes; sie wurde weiter ergänzt durch die gebogene Form, wodurch sich durch vieler Arbeit, welche ich hier nicht besprechen kann, die Ertragskurven entwickelten, zusammengefasst in verschiedenen Wirkungsgesetzen, wovon das MITSCHERLICH'sche nicht nur ihm selbst und seiner Schule zu umfangreicher Experimentalarbeit bei den verschiedenartigsten Wachstumsfaktoren Veranlassung gab, sondern auch viele Anderen zu Gedankenaustausch und Bekämpfung an Hand von Experimenten anregte.

Dabei wurde einerseits für die Ertragskurven die allgemeine Formel  $\log(A-y) = \log A - c(x+b)$  aufgestellt, welche sich durch ihre logarithmische Form und mittels ihren drei Parametern den empirisch gefundenen Ertragskurven gut anschliessen lässt. Andererseits stellte MITSCHERLICH das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren auf, nach dem der Wirkungsfaktor  $c$  für einen Wachstumsfaktor als konstant angenommen wird, unabhängig von den anderen Wachstumsfaktoren, welche zwar die Höhe des maximalen Ertrages  $A$  mit bestimmen, aber nicht die Form und den Verlauf der Ertragskurve, welche bei konstantem  $b$  durch  $c$  festgelegt ist.

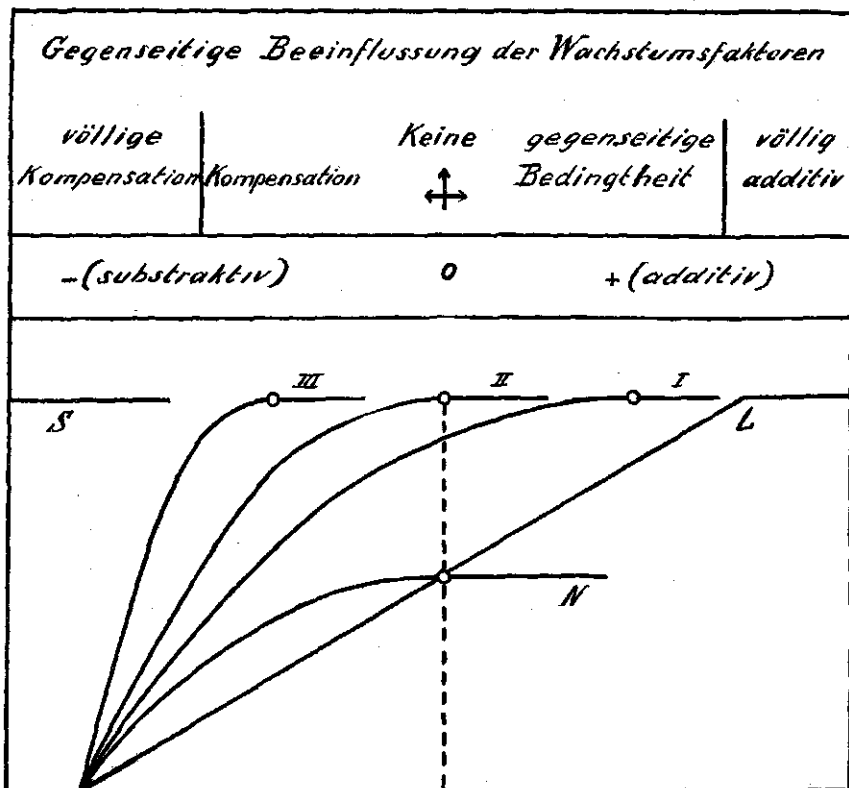
Es stellte sich dann aber durch die Arbeit mehrerer Forscher heraus dass diese einfache Form nicht standhalten konnte bei den physiologischen Prozessen des Pflanzenlebens und bei der kolloidchemischen Natur der Materie, wo gegenseitige Beeinflussung Regel ist und komplizierte Verhältnisse vorwiegen. Aus dem allgemein bekannten Material sei nur erinnert an die Versuche von RIPPEL, ESTOR und MEYER (2),

wobei eine Änderung von  $c$  und eine entsprechende Verschiebung von der Lage des Maximums einwandfrei gezeigt wurden, und an ein ähnliches Resultat von W. M. KLETSCHKOWSKY und P. A. SHELESNOW (3) für verschiedene Phosphatstufen bei steigenden Stickstoffgaben worin einwandfrei bei höherer Phosphatstufe eine Verschiebung nach rechts festgestellt wurde für den Wert des Wachstumsfaktors, wobei der maximale Ertrag erreicht wurde. Die Kurven schliessen sich den Liebig'schen ziemlich gut an, nur ist der Übergang zwischen Anstieg und waagerechte Strecke nicht scharf, sondern abgerundet, namentlich bei höheren Fruchtbarkeitsstufen.

Auch in MITSCHERLICH's Untersuchungen finden sich mehrere deutliche Beispiele von dieser Sachlage; erwähnt seien die ausführlichen Untersuchungen mit einer Reihe von Stickstoff-, Phosphat- und Kalistaffeln bei Hafer in Sandkultur von MITSCHERLICH, von BOGUSLAWSKI und GUTMANN (4), ihre Resultate für steigende Stickstoffgaben bei drei Bodenarten von verschiedener Fruchtbarkeit (5), und die Königsberger Versuche von A. LANGE (6) über steigende Stickstoffgaben bei verschiedener Wasserversorgung. Maximumverschiebung nach rechts — abnehmende  $c$ -Werte bei höherer Fruchtbarkeitsstufe — sind in allen diesen Versuchen unverkennbar.

Gut festgestellte Kurvenserien, bei welchen eine konstante Lage des Maximums unzweideutig hervorkommt, findet man eigentlich nur wenige. Ein gutes Beispiel findet sich bei A. LANGE (7); jedoch ist in diesem Versuch die Stickstoffgabe mit 3 gr  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  pro Gefäss nicht die maximale, wie aus einer anderen Versuchsreihe hervorgeht, und würde das Bild sich bei anderer Stickstoffstufe zweifellos ändern.

Bei unseren Feldversuchen fand sich nun mehrfach eine andere Änderung in der Form der Ertragskurven bei höherer Fruchtbarkeitsstufe vor, indem das Maximum noch flacher wurde im oben besprochenen Sinne und eine Verschiebung nach links deutlich sich abzeichnete. Mehrere Beispiele (Goldgerste, Roggen, Kartoffeln, Zuckerrüben und Weizen) bei einer Reihe von pH-Staffeln in verschiedenen Jahren wurden von W. C. VISSER (8) gegeben, woran sich ähnliche Resultate von P. BRUIN (9) für Roggen bei einer anderen Gruppe von Versuchsfeldern anschlossen. In den guten Jahren mit höherem Ertrag wurde eine Verschiebung des Maximums nach links gefunden, und deutlicher noch eine stärkere Krümmung der Ertragskurve (grösseres  $c$ ) bei höherem Ertragsniveau. Am deutlichsten zeigt sich dies, wenn man auf die Ertragskurven angiebt den Punkt wo der Ertrag um 10 % niedriger ist als der maximale; diese Punkte zeigen eine deutliche Verschiebung nach links bei höherer Lage der Kurve.



Gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsfaktoren.

Diese Verhältnisse kann man übersichtlich zusammenfassen in einem Allgemeinen Schema für die gegenseitige Beeinflussung der Wachstumsfaktoren wie oben.

Dabei findet man rechts bei L die Ertragskurve nach Liebig mit geraden Linien und einem scharfen Knick; der eine Wachstumsfaktor braucht volle Anfüllung von den anderen. Kurven N und I—III zeigen die etwas höhere Lage des Anstiegs nach Liebscher und die abgerundete Form.

Dabei hat Kurve I im Vergleich mit N eine nach rechts verschobene Lage des Punktes, wo der maximale Ertrag erreicht wird. Auch in diesem Falle bedingen die Wachstumsfaktoren sich gegenseitig und müssen sie sich anfüllen: zunehmende Gaben des einen können nur zur Wirkung kommen wenn genügend von den anderen ergänzend dazu kommt. Ein dergleichen Verhältnis zwischen den Wachstumsfaktoren wird manchmal unter den Gesichtspunkt der »Harmonie« gebracht; wenn die Nährstoffe nicht im richtigen Verhältnis zu einander zur

Wirkung kommen können, kann, wie man annimmt, eine Nährstoffdisharmonie entstehen, wodurch die Entwicklung der Pflanze und der Ertrag beeinträchtigt werden.

Fall II stellt die senkrechte Verschiebung des Maximums dar, welche durch das Gesetz der konstanten Wirkungsfaktoren gefordert wird: die Wirkung des einen Wachstumsfaktors ist unabhängig von den anderen. In Fall III sind die Verhältnisse umgekehrt, es wirken die Wachstumsfaktoren nunmehr nicht mehr additiv, sondern es findet eine Kompensation statt, indem bei höherer Fruchtbarkeitsstufe entweder der Boden in irgend einer Weise für den unzureichenden Wachstumsfaktor eine Kompensation liefert, oder die Pflanze sich Kompensation verschaffen kann.

Fall II steht also als Grenzfall oder Sonderfall scharf zwischen den Gebieten, welche unter Fall I bzw. III kommen, und nimmt gewissermaßen die Null-Stelle (keine Beeinflussung) ein.

Bevor wir nun dazu übergehen, und einen Überblick zu verschaffen von den Fällen welche tatsächlich vorkommen, wollen wir noch eine Art von Zusammenfassung besprechen wonach man die Verhältnisse kann studieren bei Versuchen, in denen nicht durch eine Reihe von Staffeln eine Ertragskurve hervorkommt welche die Stelle des Maximums deutlich zeigt, sondern nur Objekte »mit« und »ohne« einen bestimmten Nährstoff verglichen werden, und zwar beim selben Gewächs in einer Reihe von Jahren (welche verschiedene Fruchtbarkeitsniveau's darstellen).

Man kann dazu, wie in einer Graphik gezeigt werden wird (14), den Ertrag »ohne« auf einem Ordinaten absetzen und denjenigen »mit« auf einem anderen, und dies für zwei verschiedene Jahre: je nachdem die Linien, welche die beiden Erträge im selben Jahr verbinden, sich schneiden oberhalb, auf, oder unterhalb der Abszisse liegt Fall I (bezy. L), Fall II oder Fall III (und S) vor. Oder man kann die Erträge »ohne« als Ordinaten, diejenigen »mit« als Abszissen absetzen: je nach der Lage der Punkte für verschiedene Jahre lässt sich auch daraus schliessen welcher Fall vorliegt. F. VAN DER PAAUW (10) benutzte bei dem Studium eines unserer Versuchsfelder mit dem acht-Objekten Schema von Liebscher (O, N, P, K, NP, NK, PK, NPK) eine noch etwas verfeinerte Methode indem er die Erträge »ohne« bzw. »mit« auf das Jahresmittel für diese Objekte umrechnete, wodurch die verschiedenen Fälle deutlicher auseinander gehalten werden können.

Wir wollen nun erörtern welche von den oben gegebenen, im Allgemeinen Schema angedeuteten Fällen sich tatsächlich vortun, und sammeln dazu vorzugsweise solche Fälle, die durch eine gut gewählte

Tabelle I, Gefässversuche.

| No | Forscher  | Literatur                                 | Gewachs                     | Niveau-<br>faktor      | Wachstums-<br>faktor<br>(Abszisse) | Fall | Bemerkungen   |
|----|---|---|-----------------------------|------------------------|------------------------------------|------|---|
| 1  | Rippel, Estor<br>& Meyer                            | Z. Pflz. Ern.,<br>D. B A 8<br>(1926), 72  | Hafer                       | N (2)                  | K (7)                              | I    |   |
| 2  | Mitscherlich,<br>v. Boguslaw-<br>ski & Gut-<br>mann | Königsb. Gel.<br>Ges. 12<br>(1935), 51    | Hafer                       | N (12)                 | K (12)                             | II   | Mit übergängen<br>nach I  |
| 3  | Mitscherlich  | Lwsch. Jahrb.<br>52, 280                  | Hafer                       | N (3)                  | K (4)                              | I    | Mehrere Versuche<br>bei verschiedener<br>Versuchsanord-<br>nung (Mähzeit<br>und Düngezeit),<br>alle deutlich Fall I<br>wie oben |
| 4  | S. Landeck  | Diss. Königsb.<br>1937                    | Festu-<br>ca pra-<br>tensis | N (5)                  | K (5)                              | I    |   |
| 5  | S. Landeck  | id  | id                          | K (5)                  | N (5)                              | I    |   |
| 6  | Mitscherlich  | Lwsch. Jahrb.<br>52, 280                  | Hafer                       | K (4)                  | N (3)                              | I    |   |
| 7  | Mitscherlich,<br>v. Boguslaw-<br>ski & Gut-<br>mann | Königsb. Gel.<br>Ges. 12<br>(1935), 51    | Hafer                       | K (12)                 | N (12)                             | I    |   |
| 8  | id  | ibid, 55                                  | Gerste                      | K (8)                  | N (7)                              | I    |   |
| 9  | Kletschkowski<br>& Shelesnow                        | Lwsch. Jahrb.<br>74, 353                  | Hafer                       | N (7)                  | P (9)                              | I    |   |
| 10 | Mitscherlich,<br>v. Boguslaw-<br>ski & Gut-<br>mann | l. c. 68                                  | Hafer                       | N (11)                 | P (11)                             | I    |   |
| 11 | Kletschkowski<br>& Shelesnow                        | l. c.                                     | Hafer                       | P (9)                  | N (7)                              | I    |   |
| 12 | Opitz & Rath-<br>sack                               | Lwsch. Jahrb.<br>68, 345                  | Senf                        | P (2)                  | N (6)                              | I    |   |
| 13 | Mitscherlich,<br>v. Boguslaw-<br>ski & Gut-<br>mann | l. c. 68                                  | Hafer                       | P (11)                 | N (11)                             | I    |   |
| 14 | id  | l. c. 59                                  | id                          | P (11)                 | K (11)                             | I    |   |
| 15 | id  | l. c. 59                                  | id                          | K (11)                 | P (11)                             | I    |   |
| 16 | id  | l. c. 83                                  | id                          | Na (4)                 | K (4)                              | III  |   |
| 17 | Lemmermann,<br>Hasse &<br>Jessen                    | Z. Pflz. Ern.,<br>D. B. B 7<br>(1928), 49 | Hafer                       | P, K,<br>Wasser<br>(5) | N (6)                              | I    |   |
| 18 | Pfeiffer,<br>Blanck &<br>Flügel                     | Lwsch. Vers.<br>Stat. 67, 1;<br>76, 1691  | Hafer                       | Wasser<br>(3,20)       | N (6, 10)                          | I    | Zwei Versuchsrei-<br>hen  |
| 19 | A. Lange  | Lwsch. Jahrb.<br>85, 465                  | Hafer                       | Wasser<br>(4)          | N (10)                             | I    |   |
| 20 | id  | id  | id                          | N (10)                 | Wasser (4)                         | I    |   |
| 21 | id  | id  | id                          | Wasser<br>(4)          | P (9)                              | II   | Dikalziumphosphat   |
| 22 | id  | id  | id                          | (P (9)                 | Wasser (4)                         | I    | id  |
| 23 | Mitscherlich  | Lwsch. Jahrb.<br>49, 390                  | Hafer                       | Wasser<br>(2)          | P (6)                              | I    | Smolensk-Phospho-<br>rit  |
| 24 | id  | id, 353                                   | id                          | Wasser<br>(2)          | P (6)                              | I    | Trikalziumphos-<br>phat   |

Tabelle I, Forts.

| No | Forscher  | Literatur   | Gewächs              | Niveau-<br>faktor                  | Wachstums-<br>faktor<br>(Abszisse) | Fall | Bemerkungen  |
|----|---|---|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------|--|
| 25 | Mitscherlich  | Lwach. Jahrb.<br>49, 353  | Hafer                | Wasser<br>(2)                      | P (6)                              | II?  | Thomasschlacken-<br>mehl Serie Kurz,<br>Resultat unsicher                            |
| 26 | id  | id, 358   | id                   | Nährlö-<br>sung (3)                | P (4)                              | I    | Trikalziumphos-<br>phat 3 Versuche   |
| 27 | id  | id, 335   | id                   | Volum<br>Sand (5)                  | Nährlö-<br>sung (4)                | I    | Kurve unregelmä-<br>sig, Resultat<br>nicht deutlich                                  |
| 28 | id  | id, 349   | Möh-<br>ren          | Volum<br>Sand (5)                  | Nährlö-<br>sung (4)                | III? |  |
| 29 | Mitscherlich,<br>v. Boguslaw-<br>ski & Gut-<br>mann | I. c.   | Hafer                | Bodentyp<br>(3) (Was-<br>sermenge) | N (10)                             | I    |  |
| 30 | T. H. v. d. Ho-<br>nert                             | Archief voor<br>de Suiker-<br>industrie in<br>Ned. Indië<br>1933, 143 | Zuc-<br>ker-<br>rohr | pH                                 | P                                  | III  | Erhöhter<br>Phosphatertrag<br>bei niedrigerem<br>pH (7.5 bis 4.5)<br>in Wasserkultur |

Reihe von Staffeln die Stelle der etwaigen Maxima möglichst unzweideutig zeigen. Tabelle I enthält eine Anzahl solcher Fälle für *Gefäßversuche*; die Zusammenstellung macht keinen Anspruch auf Vollständigkeit, aber soweit diese geht tritt deutlich hervor dass in Gefäßversuchen mit verschiedenen Faktoren — zwar vorwiegend bei Hafer, aber auch bei anderen Gewächsen — Fall I sehr häufig auftritt: bei 30 Beispielen 24 mal. Fall II wurde zweimal deutlich, einmal etwas zweifelhaft angetroffen, und Fall III auch zweimal deutlich und einmal zweifelhaft.

Eine starke Tendenz nach einer kleineren oder grösseren Maximumverschiebung nach rechts ist also unverkennbar; die untersuchten Faktoren bedingen sich offenbar gegenseitig und sind einander anfüllend notwendig. Dagegen kommt auch Fall III vor, wobei wir besonders hervorheben No. 16, einen Gefäßversuch mit Hafer von MITSCHERLICH, v. BOGUSLAWSKI und GUTMANN, wobei gesteigerte Kaligaben bei verschiedenen Natriumstufen untersucht wurden. Es kommt eine deutliche Maximumverschiebung nach links zum Vorschein; eine Kompensation von Kalium durch Natrium ist ein bekanntes Phänomen.

Stellen wir nun eine Anzahl Resultate von *Untersuchungen im Felde* zusammen, so ergibt sich das in Tabelle II sich zeigende Bild, wobei Fall III mehrfach und unzweideutig vorkommt, und zwar bei den 26 Beispielen 14 mal, mit noch drei Zweifelfällen. Daneben kommt auch

Tabelle II, Feldversuche

| No | Forscher       | Literatur                                | Gewachs             | Niveaufaktor             | Wachstumsfaktor (Abszisse)             | Fall   | Bemerkungen                                      |
|----|----------------|--|---------------------|--------------------------|--|--------|--|
| 1  | F. v. d. Paauw | —  | Roggen              | P (1×3)                  | N (3)                                  | I      | Versuchsfeld Pr 448, 1938. Nicht ganz sicher.    |
| 2  | —              | —  | Kartoffeln          | P (3)                    | K (3)                                  | I      | Versuchsfeld 00 51, 1937. Nicht ganz sicher.     |
| 3  | C. A. Mooers   | J. Am. Soc. Agron. 12 (1920), 16         | Mais                | Bodengüte (2)            | Standraum (Pflanzen pro Hektar) (7.12) | III    | 2 Gegende in Tennessee                           |
| 4  | L. W. Osborn   | Arkansas Expt. Stat. Bull 200 (1925), 20 | Mais                | Bodenfruchtbarkeit (2×7) | Standraum (Pflanzen pro hektar) (5)    | III    | 7 Arten in 2 Fruchtbarkeitsgruppen               |
| 5  | O. de Vries    | —  | Kartoffeln          | Jahreswetter (18)        | N                                      | II     | Versuchsfeld Pr 8, 18 Jahre, je 3 Kombinationen. |
| 6  | id             | —  | id                  | id                       | P                                      | ?      | wie oben; Fall III übergehend in II—I.           |
| 7  | id             | —  | id                  | id                       | K                                      | I      | wie oben.  |
| 8  | G. Liebscher   | J. f. Landw. 43 (1895), 99               | Sommerweizen, Korn  | Jahreswetter (3)         | N                                      | II     | Drei Jahre, je 4 Kombinationen.                  |
| 9  | id             | id                                       | id                  | id                       | K                                      | II—III | id   |
| 10 | id             | id                                       | Sommerweizen, Stroh | id                       | N                                      | III    | id   |
| 11 | id             | id                                       | id                  | id                       | K                                      | ?      | id; Fall III bis II.                             |
| 12 | id             | ibid 117                                 | Kartoffeln          | Jahreswetter (9)         | N                                      | III    | id   |
| 13 | id             | id                                       | id                  | id                       | K                                      | II     | id   |
| 14 | F. v. d. Paauw | Lbwk. Tijdschr. 50 (1938) 819            | Roggen              | Jahreswetter (11)        | P                                      | III    | Versuchsfeld Pr 8, 11 Jahre, je 3 Kombinationen. |
| 15 | id             | id                                       | id                  | id                       | K                                      | III    |  |
| 16 | P. Bruin       | —  | Roggen, Korn        | Jahreswetter (3)         | pH                                     | I      | Versuchsfeld Pr 200, 8 pH-Stufen.                |
| 17 | id             | —  | Roggen, Stroh       | id                       | pH                                     | I      |  |



Tabelle II, Forts.

| No | Forscher      | Literatur                                 | Gewachs           | Niveau-<br>faktor                           | Wachstums-<br>faktor<br>(Abszisse)                        | Fall | Bemerkungen   |
|----|---------------|---|-------------------|---|---|------|---|
| 18 | P. Bruin      | —   | Kartof-<br>feln   | Jahres-<br>wetter(3)                        | pH  | I    |   |
| 19 | id            | Versl. Lbwk.<br>Onderz. 42<br>(1936), 773 | Roggen            | Frucht-<br>barkeit<br>und Jah-<br>reswetter | pH  | III  | 42 Erntejahre<br>von verschie-<br>denen (28)<br>Versuchs-<br>feldern.       |
| 20 | W. C. Visser  | Versl. Lbwk.<br>Onderz. 44<br>(1938), 341 | Roggen            | Frucht-<br>barkeit<br>und Jah-<br>reswetter | pH  | III  | 12 Erntejahre.  |
| 21 | id            | id, 334—338                               | Kartof-<br>feln   | id  | pH  | III  | 29 Erntejahre.  |
| 22 | id            | id  | Gerste            | id  | pH  | III  | 9 Erntejahre.   |
| 23 | id            | id  | Weizen            | id  | pH  | III  | 23 Erntejahre.  |
| 24 | id            | id, 328                                   | Zucker-<br>rübe   | id  | pH  | III  | 13 Erntejahre.  |
| 25 | H. A. Wallace | Wallace's<br>Farmer 50<br>(1925), 641     | Mais              | Jahres-<br>ertrag                           | Stand-<br>raum<br>(Pflanzen<br>pro Pflanz-<br>stelle) (5) | III  | Erträge von 21<br>Jahren<br>(Ohio) in 3<br>Fruchtbar-<br>keitsgrup-<br>pen. |
| 26 | W. M. Jardine | J. Am. Soc.<br>Agron. 8<br>(1916), 165    | Winter-<br>weizen | Saatzeit<br>(8)                             | Saatmenge   | III  | Mittel von 3<br>Jahren<br>(Kansas)  |

Fall I vor (6 mal), und weiter auch Fall II (3 mal), so weit das letztere sich bei den ziemlich grossen Versuchsfehlern feststellen lässt. Jedenfalls ist der von anderen Forschern bis jetzt noch nicht hervorgehobene und wohl noch nicht deutlich erkannte Fall III gar nicht selten und bei einigen Faktoren-Kombinationen in Tabelle II sogar vorwiegend. Dies lässt sich, bei dem allgemeinen Vorkommen von Anpassungserscheinungen in der Physiologie und in der Landwirtschaft, leicht verstehen.

Wir greifen als Beispiel heraus No. 25, wobei der Einfluss erörtert wurde von guten Jahren mit grosser Ernte, bezw. schlechten Jahren, auf das Maximum der Maiserträge bei verschiedenem Standraum; auch hier giebt die höhere Fruchtbarkeit in den guten Jahren eine deutliche Maximumverschiebung nach links. Mehrere von den in Tabelle II angegebenen Fällen beziehen sich auf einfachere Versuchsfelder wo keine gestaffelte Serien untersucht wurden, sondern nur Düngungen »ohne« und »mit« bestimmten Bestandteilen. Dass man auch bei solchen einfachen Versuchen sich nach den oben angedeuteten Verarbeitungsweisen befriedigend über die Verhältnisse orientieren kann, wenn nur

genügend Erntejahren mit demselben Gewachs vorliegen, wurde oben auseinandergesetzt.

So weit das hier gesammelte, beschränkte Tatsachenmaterial geht, würde es scheinen dass Fall I bei Gefässversuchen vorherrscht, während Fall III bei Feldversuchen in den Vordergrund tritt. Man könnte dafür auch leicht eine zwanglose Erklärung finden, indem man denkt an den kleinen Wurzelraum in den Gefässen gegenüber den grossen Wurzelraum und die Möglichkeit von Anpassung im Felde. Sollte sich die Schlussfolgerung bestätigen, dass in Gefässversuchen Fall I (bis II) vorherrscht, aber im Felde Fall III sehr oft auftritt, so würde dies die Gültigkeit der Resultate von Gefässversuchen einschränken und würde man vorsichtig sein müssen mit der Verallgemeinerung dieser Resultate auf die Verhältnisse im Felde. Dies scheint vorderhand aber nicht die meist wahrscheinliche Schlussfolgerung; es ist zu bemerken dass bei den in Tabelle I gesammelten Gefässversuchen die *pflanzenernährenden Wachstumsfaktoren* vorherrschen, Faktoren also worauf die Pflanze reagiert indem sie etwas zu sich nimmt; bei den in Tabelle II erwähnten Feldversuchen sind vielfach Milieu-Faktoren im Spiele, wobei die Pflanze auf einen Zustand des Milieus reagiert.

Es ist als wahrscheinlich zu betrachten dass die Art, in der die Wachstumsfaktoren einander beeinflussen, in erster Linie durch ihre eigene Natur bedingt sein wird, und dass die charakteristischen Unterschieden zwischen Gefässversuch und Feldversuch erst in zweiter Linie von Bedeutung sind. Es ist sehr erwünscht dass das experimentelle Material in dieser Beziehung sowohl für Gefäss- als für Feldversuche vervollständigt wird, so dass man sehen kann ob und in welcher Richtung ein fundamenteller Unterschied vorhanden ist.

Welche Faktoren-Kombinationen sich gegenseitig ergänzen müssen, bei welchen und unter welchen Umständen eine Kompensation möglich ist, wird näher zu erforschen sein. Es ist aber wichtig um hervorzuheben dass in der Praxis sich manchmal Anklänge sowohl an Fall I als an Fall III finden.

Wenn man sich mit der Harmonie der Nährstoffe beschäftigt und zu erörtern versucht, in welchem Verhältnis Stickstoff, Phosphorsäure und Kali in der Düngung gegeben werden müssen, so denkt man sich diese Nährstoffe als additiv, einander anfüllend, wirksam; es liegt dann Fall I vor. Bei stärkerer Stickstoffdüngung wird man, bewusst oder unbewusst diesem Prinzip folgend, mehr Phosphat und Kali geben; umgekehrt ist es gut bekannt dass man, um Kalimangel-Erscheinungen deutlicher sichtbar zu machen, die Kali-armen Parzellen stark mit Stickstoff und Phosphat düngen muss. Bei höherem Ertragsniveau

und stärkerer Entwicklung der Pflanze wird der Einfluss eines Kalimangels grösser, der Ertragsabfall steiler; es herrschen also die Verhältnisse von Fall I.

Daneben stehen andere Erfahrungen, nämlich dass die Pflanze einen Schaden oder einen Mangel besser verträgt, wenn die sonstigen Umstände günstiger sind und der Ertrag höher. In guten Jahren kann auf einem bestimmten Felde der Einfluss eines Kalimangels oder eines Phosphatmangels weniger gross sein, in schlechten Jahren kann dieser stark hervortreten: man schliesst dass in schlechten Jahren Kali- oder Phosphatdünger stärker wirken und grösseren Effekt geben (11). Bei höherem Ertragsniveau also ein flacheres Maximum und ein geringerer Ertragsabfall: es liegt dann Fall III vor. So kann auf fruchtbarem Boden der schädliche Erfolg von einem niedrigen pH weniger gross sein als auf schlechtem Boden; W. C. VISSER (12) schliesst z. B. dass auf unseren Sandböden Roggen in weniger günstigen Fällen, wo der Ertrag relativ niedrig ist, ein pH (in Wasser) von 6 bis 6.5 verlangt, während auf ähnlichen, aber fruchtbareren Böden das pH bis 4.8 sinken kann ohne dass ein Ertragsabfall zu fürchten sei.

Es ist klar dass die Düngungswirtschaft und die Beratung je nach der Sachlage auf ganz andere Basis gestellt werden müssen; praktische Erfahrung hat wohl schon meistens das richtige gelehrt, aber Klarheit in den Gesichtspunkten und genauere Kenntnis der Verhältnisse sind sehr erwünscht. Das Studium von den wichtigsten Kombinationen von Wachstumsfaktoren von den oben entwickelten Gesichtspunkten aus erscheint sehr wünschenswert.

#### LITERATURVERZEICHNIS

1. G. LIEBSCHER: Journ. f. Landwirtsch. 43 (1895), 216.
2. A. RIPPEL; W. ESTOR und R. MEYER: Zeitschr. Pfl. ern. D. u. B. A 8 (1926), 72.
3. W. M. KLETSCHKOWSKY und P. A. SHELESNOW: Landw. sch. Jahrb. 74 (1931), 353.
4. E. A. MITSCHERLICH, E. v. BOGUSLAWSKI und A. GUTMANN: Schriften d. Königsb. Gelehrten Ges. 12 (1935), 63.
5. E. A. MITSCHERLICH, E. v. BOGUSLAWSKI und A. GUTMANN: Schriften d. Königsb. Gelehrten Ges. 12 (1935), Seite 99.
6. A. LANGE: Landw. sch. Jahrb. 85 (1938), 481.
7. A. LANGE: Landw. sch. Jahrb. 85 (1938), Seite 481.
8. W. C. VISSER: Verslagen van Landbouwk. Onderzoekingen 44 (1938), 313 (mit Englischer Zusammenfassung).
9. P. BRUIN: Versl. v. Landbouwk. Onderzoekingen 42 (1936), 814.
10. F. VAN DER PAAUW: Landbouwk. Tijdschr. 50 (1938), 795.

11. E. J. RUSSELL: Die Ernährung der Pflanze 24 (1928), 259.
12. Verslagen van Landbouwk. Onderzoekingen 44 (1938), 344.
13. O. DE VRIES: Bodenk. u. Pflz. ern. 14 (1939), 1.
14. O. DE VRIES: Landbouwkundig Tijdschrift 51 (1939), 745.