

Untersuchungen über die Fehler der Konstanten im Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren

Von KURT GRIGULL, Königsberg (Pr.).

Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren wurde von MITSCHERLICH in Abänderung des LIEBIGSchen Gesetzes vom Minimum aufgestellt¹). Im Rahmen vorliegender Arbeit erscheint es dem Verfasser nicht notwendig, Entwicklung und Bedeutung dieses Gesetzes noch einmal ausführlich zu behandeln, da hierüber bereits genügend Literatur vorliegt. Es sei deshalb zur Erläuterung lediglich der Wortlaut des Wirkungsgesetzes kurz wiedergegeben: „Die Steigerung des Pflanzenertrages ist proportional dem am Höchstertrage fehlenden Ertrag“. Als logarithmische Gleichung ausgedrückt hat das Gesetz die Form: $\log(A-y) = \log A - c(x+b)$. In dieser Gleichung bedeutet A den jeweilig erreichbaren Höchstertrag, y den erreichten Ertrag, c den Wirkungsfaktor eines Düngemittels, x die hiervon gegebene Menge und b den Nährstoffvorrat des Bodens.

Die beiden Konstanten dieser Gleichung sind einmal c, der Wirkungsfaktor eines Pflanzennährstoffs bzw. Düngemittels, und b der Nährstoffvorrat des Bodens.

Der Wirkungsfaktor c ist für alle Pflanzen im Gefäß- und Feldversuch konstant und unabhängig von Boden, Klima und Pflanzenart. b ist konstant beim Gefäßversuch, da es sich hier immer um dieselbe zu untersuchende Bodenschicht handelt, schwankt naturgemäß beim Feldversuch, da das Wurzelsystem der einzelnen Kulturpflanzen eine verschiedene Ausbreitung in die Tiefe hat und somit die Ausnutzung der Nährstoffe des Bodens ebenfalls eine verschiedene ist.

Zweck vorliegender Arbeit ist es, zu ermitteln, wie groß die Schwankungen dieser Konstanten bei der Bestimmung aus den Resultaten von Feld- und Gefäßversuchen ist, welche Versuchsmethode genauer arbeitet und wie die Übereinstimmung zwischen beiden Methoden ist.

¹) MITSCHERLICH, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. S. 30.

Es wurden hierzu mit verschiedenen Kulturpflanzen gleichlaufende Feld- und Gefäßdüngungsversuche angesetzt und deren Resultate ausgewertet. Diese Versuche liefen während des Sommers 1927 auf dem Versuchsfeld „Lawskens“ des Pflanzenbau-Instituts der Albertus-Universität zu Königsberg (Pr.).

Der Boden, auf dem die Parzellen der Feldversuche lagen, ist humöser Sand. Größere Bodenverschiedenheiten waren auf dem Feldstück, das von den Versuchsparzellen eingenommen wurde (insgesamt ca. 5300 qm), nicht zu beobachten. Die Vorfrucht des Versuchsfeldes war Rotklee mit Timotheum-Einsaat, der bereits 2 Jahre zu Heugewinnung gedient hatte. Der Rotklee zeigte daher bereits einen sehr unregelmäßigen Bestand. Dieses hatte zur Folge, daß die Stickstoffanreicherung durch die Knöllchenbakterien nicht gleichmäßig überall erfolgen konnte und so auf verschiedenen Stellen ganz verschiedene Mengen von Bodenstickstoff der Nachfrucht zur Verfügung standen. Daher haben sich bei der Bestimmung des Stickstoffvorrates durch den Feldversuch beträchtliche Schwankungen ergeben. Der Acker war im Herbst 1926 geplügt worden und hatte während des Winters in rauher Furche gelegen. Es erfolgte dann im Frühjahr eine mehrmalige Bearbeitung mit SIEMENS-Fräse, Kultivator und Egge.

Als Versuchspflanzen dienten Hafer, weißer Senf, Rotklee, Kartoffeln und Möhren (rote Pferdemöhre). Mit jeder von ihnen wurde eine Versuchsreihe mit steigenden Kali-, Phosphor- und Stickstoffgaben angelegt. Jeder Versuch hatte 6fache Wiederholung, um die Fehler möglichst klein zu gestalten. Die Parzellengröße betrug für Hafer, Senf und Rotklee 5 qm und für Kartoffeln und Möhren 20 qm. Die Grunddüngung wurde mit einer 2 Meter breiten „Westfalia-Düngerstreumaschine“ gegeben, was bei genauem Abdrehen der Maschine gut gelang.

Die Grunddüngung betrug:

für die Versuchsreihe mit steigenden Kaligaben

2 dz/ha Superphosphat und
2 dz/ha schwefels. Ammoniak,

für die Versuchsreihe mit steigenden Phosphorgaben

bei Kartoffeln und Möhren 4 dz/ha schwefels. Kali und
2 dz/ha schwefels. Ammoniak,
bei Hafer, Senf und Klee 2 dz/ha schwefels. Kali und
2 dz/ha schwefels. Ammoniak,

für die Versuchsreihe mit steigenden Stickstoffgaben
 bei Kartoffeln und Möhren 4 dz/ha schwefels. Kali und
 2 dz/ha Superphosphat,
 bei Hafer, Senf und Klee 2 dz/ha schwefels. Kali und
 2 dz/ha Superphosphat.

Die Versuche wurden demnach so angelegt, daß ein Nährstoff gesteigert wurde, während die beiden anderen in ausreichender Menge als Grunddüngung gegeben wurden.

Als Differenzdüngung wurden folgende abgestuften Gaben verabfolgt:

I. Kalisteigerung (schwefelsaures Kali)

Hafer, Senf und Klee g/Parzelle	Kartoffeln und Möhren g/Parzelle	umgerechnet in dz/ha
0	0	0
12,5	50	0,25
31,3	125	0,63
80	320	1,6
200	800	4

II. Phosphorsteigerung (Superphosphat)

Hafer, Senf und Klee g/Parzelle	Kartoffeln und Möhren g/Parzelle	umgerechnet in dz/ha
0	0	0
25	100	0,5
62,5	250	1,25
160	640	3,2
400	1600	8

III. Stickstoffsteigerung (schwefelsaures Ammoniak)

Hafer, Senf und Klee g/Parzelle	umgerechnet dz/ha	Kartoffeln und Möhren g/Parzelle	umgerechnet dz/ha
0	0	0	0
9,4	0,2	18,8	0,38
23,4	0,5	46,9	0,84
60	1,2	120	2,45
150	3	300	6

Die Einstaat erfolgte mit einer 1 m breiten „Saxonia“-Handdrillmaschine. Um einen dichten feldmäßigen Bestand zu erhalten

und das Unkraut zu unterdrücken, wurde das Aussaatquantum verhältnismäßig hoch gewählt:

Senf	20 kg/ha	Rotklee	18 kg/ha
Hafer	160 kg/ha	Möhren	8 kg/ha

Die Kartoffeln wurden im Abstand von 40×50 cm nach dem Furchenzieher und Markeur mit dem Spaten gesetzt.

Die Pflege der Versuchsparzellen während der Vegetation erstreckte sich auf Hacken und Häufeln. Bei den Kartoffelversuchen wurden die Fehlstellen durch zeitiges Nachpflanzen ausgeglichen, was restlos gelungen ist. Die Ursache zum Entstehen solcher Fehlstellen war starker Drahtwurmbefall der ausgelegten Knollen.

Die Ernte der Parzellen ging so vonstatten, daß die Erträge jedes einzelnen Teilstückes mit der üblichen Erntewaage¹⁾ gleich nach dem Mähen festgestellt wurden. Hafer und Senf wurden im Stadium der Gelbreife, der Rotklee in voller Blüte, Kartoffeln und Möhren Anfang Oktober geerntet. Von einer Feststellung des Korn-ertrages bei Hafer und Senf wurde abgesehen, da zur Bestimmung des Nährstoffvorrates des Bodens der Körnertrag allein nicht genügt, sondern Korn- und Stroherträge in gleicher Weise berücksichtigt werden müssen. Es hängt dieses mit der verschiedenen Ab-lagerung der aufgenommenen Nährstoffe in der Pflanze zusammen. Diese erfolgt nicht nur im Korn, sondern ebenso auch im Halm, in den Blättern und bei Hackfrüchten auch in den Knollen und Wurzeln. Da in vorliegender Arbeit Halmfrüchte und Hackfrüchte miteinander in Vergleich gesetzt sind, mußten von den Halmfrüchten auch die Gesamterträge festgestellt werden.

Aus diesen Ertragszahlen der Feldversuche wurden dann die Konstanten des Wirkungsgesetzes und ihre wahrscheinlichen Schwankungen errechnet.

Mit diesen Feldversuchen wurden gleichlaufend Gefäßversuche angestellt. Als Versuchspflanzen dienten dieselben wie auf dem Felde mit Ausnahme der Kartoffeln. Nur wurden statt der langen Pferdemöhre im Gefäß kleine halblange Karotten gesät. Von einer Verwendung der Kartoffeln zum Gefäßversuch wurde abgesehen, weil bei nur einer Pflanze pro Gefäß die Individualität dieser zu stark mitspricht, was zu groben Versuchsfehlern Veranlassung geben kann. Der Boden zu den Gefäßversuchen wurde als gute Durchschnittsprobe dem für die Parzellen bestimmten Feldstück

¹⁾ MITSCHERLICH, Vorschriften zur Anstellung von Feldversuchen, S. 17.

entnommen, gut gemischt und durch ein Drahtmaschensieb von 1 cm Maschenweite abgesiebt. Das Füllen der Gefäße und deren Aufstellung erfolgte in derselben Weise, wie dieses bei der MITSCHERLICH - Gesellschaft gehandhabt wird, und von MITSCHERLICH in seiner Schrift: „Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens“ ausführlich beschrieben wird¹⁾), so daß sich eine genaue Beschreibung hiervon erübrigt.

Sämtliche Gefäßversuche wurden in 4facher Wiederholung angesetzt. Der Inhalt der Gefäße betrug 7 kg Boden, die Tiefe der Bodenschicht ca. 15 cm.

Entsprechend der Versuchsanstellung beim Feldversuch wurde auch hier je eine Versuchsreihe mit steigenden Gaben von Kali, Phosphor und Stickstoff angelegt. Als Düngemittel gelangten zur Verwendung: Schwefelsaures Kali, Superphosphat und Ammonnitrat, sämtlich in gelöster Form. Die steigenden Gaben der einzelnen Düngemittel waren folgende:

Schwefels. Kali g/Gefäß		Superphosphat g/Gefäß		Ammonnitrat g/Gefäß	
	dz/ha		dz/ha		dz/ha
0	0	0	0	0	0
0.185	0,6	0.3	0,97	0,2	0,65
0.46	1,5	0.75	2,44	0.5	0,6
1.11	3,6	1.87	6.1	1.2	3,8
2.77	9	—	—	—	—

Bei der Phosphor- und Stickstoffsteigerung wurden die Volldüngungsgefäße nicht mehr angesetzt, da sie bereits bei der Kali-steigerung in genügender Wiederholung vorhanden waren. Als Grunddüngung erhielt jedes Gefäß eine Volldüngung mit Ausnahme des zu steigernden Nährstoffes.

Diese betrug bei der Differenzdüngung

mit Kali	6,5 g Superphosphat/Gefäß
	3 g Ammonnitrat/Gefäß
mit Phosphor	3 g schwefelsaures Kali/Gefäß
	3 g Ammonnitrat/Gefäß
mit Stickstoff	3 g schwefelsaures Kali/Gefäß
	6,5 g Superphosphat/Gefäß

Außerdem wurden zu jedem Gefäß 0,5 g Natriumchlorid in gelöster Form zugegeben, um ganz sicher einen Vorrat von Natrium zu

¹⁾ a. a. O. S. 54 bis 57.

haben; denn der Wirkungsfaktor des Kali wird bei Anwesenheit von Natron auf das Dreifache vergrößert¹⁾.

Diese Gefäßversuche wurden einmal in reinem Boden ange setzt, außerdem aber die der Kali- und Phosphorsteigerung in einem Gemisch von Boden und Hohenbockaer Quarzsand im Verhältnis von 1:1. Diese Art der Versuchsanstellung dient bei den Mangel düngerversuchen dazu, den Nährstoffvorrat eines Bodens an K_2O und P_2O_5 feststellen zu können²⁾. Es sollte auch hier nachgewiesen werden, daß der Wirkungsfaktor eines Nährstoffs sowie der Nährstoff gehalt des Bodens bei dieser Art der Versuchsanstellung für alle Pflanzen konstant bleibt, und festgestellt werden, welche Schwan kungen hierbei auftreten.

Die Einsaat der Gefäße, ihre Behandlung bis zur Ernte und diese selbst erfolgten genau so, wie sie sonst bei Gefäßversuchen üblich ist. Die Anzahl der Pflanzen pro Gefäß war für

Hafer	35 Stück	Klee	20 Stück
Senf	30 Stück	Möhren	15 Stück

Hafer, Senf und Möhren wurden eingesät und dann auf die be stimmte Pflanzenzahl verzogen. Der Rotklee wurde schon früh zeitig in Holzkästen gesät und darauf in die Gefäße verpflanzt, um kräftigere Pflanzen zu erhalten. Die Ernte der Gefäße erfolgte bei Hafer und Senf ebenfalls in der Gelbreife, beim Rotklee in voller Blüte und bei den Möhren, als das Kraut zu welken begann, ein Zeichen dafür, daß die im Boden vorhandenen Nährstoffe von den Pflanzen aufgenommen waren. Die Erträge wurden dann im Trockenschrank bei ca. 100° getrocknet und dann gewogen. Die Möhren wurden gleich nach dem Ausnehmen gewaschen, abgetrock net und das Gewicht festgestellt.

Es folgen nun die Resultate der Feldversuche. Die angegebenen Werte sind die Mittelwerte aus 6 Parallelbeobachtungen mit dem wahrscheinlichen Fehler des Mittels. Dieser ist nach der Formel der GAUSSSCHEN Fehlerwahrscheinlichkeitsrechnung berechnet:

$$R = \pm 0,845 \times \frac{\Sigma v}{n \sqrt{n-1}}, \text{ worin } \Sigma v \text{ die Summe der positiven und}$$

negativen Abweichungen der Einzelbeobachtung vom Mittel ist, und n die Zahl der Beobachtungen bedeutet. Die nach den Resultaten

¹⁾ MITSCHERLICH, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. S. 39.

²⁾ MITSCHERLICH, Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. S. 52.

angeführten Gleichungen sind die Ertragsgleichungen für die berechneten Werte. Die Umrechnung der Resultate der 5 qm großen Parzellen bei Hafer, Senf und Klee auf dz/ha erfolgte nach der Gleichung: $dz/ha = \frac{kg/Parzelle \cdot 0,01 \cdot 10\,000}{5} = kg/Parzelle \cdot 20$. Um-

rechnung der 20 qm großen Parzellen bei Kartoffeln und Möhren: $dz/ha = \frac{kg/Parzelle \cdot 0,01 \cdot 10\,000}{20} = kg/Parzelle \cdot 5$.

Hafer. (Sämtliche Werte in dz/ha!)

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	126 ± 4	129,9
0,25	134 ± 2,8	130,9
0,63	126 ± 2,6	132
1,6	136 ± 4	134,2
4	136 ± 4	136,9

$$\log(137,1 - y) = \log 137,1 - 0,25 \cdot (x + 5,11)$$

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	112 ± 6	117,9
0,5	122 ± 6	120,8
1,25	124 ± 4	124,4
3,2	136 ± 2	131,3
8	134 ± 4	138,8

$$\log(142 - y) = \log 142 - 0,11 \cdot (x - 7)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	92 ± 6	93,7
0,2	98 ± 4	97,1
0,5	110 ± 2	103,2
1,2	120 ± 4	112,7
3	138 ± 4	140

$$\log(380,9 - y) = \log 380,9 - 0,025(x + 4,9)$$

Senf

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	196 ± 5	189,3
0,25	190 ± 6	193,9
0,62	196 ± 5,4	196
1,6	194 ± 6	199,8
4	205 ± 4	203,6

$$\log(204,8 - y) = \log 204,8 - 0,25 \cdot (x + 4,8)$$

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	188 ± 4	172
0,5	186 ± 4	174,5
1,25	184 ± 2	177,6
3,2	182 ± 8	184,9
8	182 ± 2	190

$$\log(192,7 - y) = \log 192,7 - 0,11 \cdot (x + 8,8)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	120 ± 4	119,8
0,2	122 ± 8	124,7
0,5	128 ± 4	131,8
1,2	144 ± 4	150
3	192 ± 6	191,6

$$\log(572,4 - y) = \log 572,4 - 0,025(x + 4,1)$$

Rotklee

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	187 ± 2,8	198,1
0,25	195,8 ± 3,4	201,8
0,63	210,4 ± 2	206,2
1,6	228,6 ± 4	214,7
4	246,8 ± 6	222,9

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	176 ± 2,8	176,6
0,5	190 ± 5,6	181,3
1,25	200 ± 5,4	188
3,2	202 ± 4	201
8	214 ± 4	214,7

$$\log(225,6 - y) = \log 225,6 - 0,25(x + 3,7) \quad \log(220,5 - y) = \log 220,5 - 0,11(x + 6,4)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	216 ± 2	214,1
0,2	220 ± 6	216,4
0,5	224 ± 4	217,4
1,2	220 ± 4	219,6
3	214 ± 4	224,9

$$\log(273,6 - y) = \log 273,6 - 0,025(x + 27)$$

Kartoffeln

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	245 ± 17,5	250,3
0,25	247 ± 8,5	255,9
0,63	267 ± 9	262,2
1,6	275,5 ± 4	274,3
4	285,5 ± 3,4	286,1

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	272 ± 5	272,1
0,5	275 ± 7	274,2
1,25	283 ± 6,5	277,0
3,2	276 ± 3,5	282,0
8	279 ± 2,5	287,7

$$\log(290 - y) = \log 290 - 0,25(x + 3,5) \quad \log(290 - y) = \log 290 - 0,11(x + 11)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	230,5 ± 4,5	232
0,4	246,5 ± 4,5	239
0,9	258,5 ± 2	250
2,4	267,5 ± 4,5	278
6	324 ± 7	337

$$\log(591,9 - y) = \log 591,9 - 0,025(x + 8,6)$$

Möhren.

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	363,4 ± 13	365
0,25	369,3 ± 10	372
0,63	377,5 ± 5	381
1,6	384,2 ± 9	397
4	413 ± 3	413

$$\log(418 - y) = \log 418 - 0,25(x + 3,6)$$

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	410,2 ± 9	414
0,5	420,6 ± 5	417
1,25	443,4 ± 11	419
3,2	438,3 ± 12	425
8	430 ± 3	432

$$\log(434 - y) = \log 434 - 0,11(x + 12,3)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	396,3 ± 18	382
0,4	366,5 ± 18	385
0,9	402 ± 12	388
2,4	389 ± 7	397
6	361 ± 13	416

$$\log(470 - y) = \log 470 - 0,025(x + 24)$$

Die nun folgenden Resultate der Gefäßversuche sind die Mittelwerte aus vier Parallelbeobachtungen mit ihren wahrscheinlichen Fehlern. Die Umrechnung der Erträge in dz/ha erfolgte nach der Gleichung:

$$\text{dz/ha} = \frac{\text{g Gefäß} \cdot 0,00001 \cdot 100000000}{308} = \frac{\text{g Gefäß} \cdot 3,25}{308}$$

Die Gefäßoberfläche betrug 308 qcm.

Hafer. I. Reiner Boden.

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	193,1 ± 6,5	176,0
0,6	215,8 ± 4,2	217,4
1,5	240,2 ± 2,3	258,1
3,6	282,8 ± 4,2	300,1
9	317,3 ± 0,3	317,2

$$\log(318 - y) = \log 318 - 0,25(x + 1,4)$$

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	224,6 ± 8,1	217,1
0,97	240,5 ± 6,5	248,7
2,44	255,5 ± 1,9	263,1
6,1	305,2 ± 4,5	290,3

$$\log(317,3 - y) = \log 317,3 - 0,11(x + 4,5)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	42,6 ± 0,3	42,5
0,65	66,3 ± 1,—	69,8
1,3	105,9 ± 0,3	106,7
3,8	184,6 ± 1,9	180,3

$$\log (499,8 - y) = \log 499,8 - 0,041 (x + 0,94)$$

II. Sandgemisch.

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	128,— ± 4,5	116,1
0,6	153,8 ± 4,2	169,3
1,5	194,4 ± 2,8	201,5
3,6	240,8 ± 2,2	275,2!
9	297 ± 3,1	297

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	159,9 ± 2,9	158!
0,97	166,1 ± 1,6	188,4!
2,44	186,4 ± 5,5	222,1!
6,1	277,2 ± 3,6	267,4

$$\log (297 - y) = \log 297 - 0,11 (x + 3)$$

$$\log (298,1 - y) = \log 298,1 - 0,25 (x + 0,9)$$

Senf. I. Reiner Boden.

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	127,1 ± 2,5	127,3
0,6	152,8 ± 4	152,4
1,5	183 ± 2	177
3,6	198,8 ± 3,2	202,4
9	212,8 ± 1,6	212,7

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	119,6 ± 2,1	119,3
0,97	130,3 ± 2	133,9
2,44	144,3 ± 2,4	151
6,1	178,4 ± 3,8	172,1

$$\log (186,4 - y) = \log 186,4 - 0,11 (x + 4)$$

$$\log (213,2 - y) = \log 213,2 - 0,25 (x + 1,6)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	23,7 ± 1	23,7
0,65	34,8 ± 0,6	38,5!
1,3	64 ± 1,2	58,5!
3,9	105,9 ± 2	98,6

$$\log (271,4 - y) = \log 271,4 - 0,041 (x + 0,7)$$

II. Sandgemisch

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	59,2 ± 1,3	59,3
0,6	92,6 ± 8,4	93
1,5	118,7 ± 3,1	113,5
3,6	158 ± 2,2	160,3
9	174,2 ± 5,2	174,2

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	81,6 ± 3,0	81,7
0,97	88,1 ± 3,8	96,9
2,44	108,8 ± 4,5	115,4
6,1	139,7 ± 1,3	139,2

$$\log(154,8 - y) = \log 154,8 - 0,11(x + 2,9)$$

$$\log(174,8 - y) = \log 174,8 - 0,25(x + 0,7)$$

Rotklee. 1. Reiner Boden

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	120,3 ± 1,9	113,6
0,6	128,4 ± 8,1	126,6
1,5	145,6 ± 14,6	132,7
3,6	151,1 ± 3,2	153,6
9	157,7 ± 7,4	157,8

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	67,3 ± 9,4	61,6
0,97	71,8 ± 4,2	66,5
2,44	75,7 ± 7,3	71,8
6,1	80,3 ± 4,2	79,1

$$\log(83,8 - y) = \log 8,38 - 0,11(x + 5,3)$$

$$\log(158,1 - y) = \log 158,1 - 0,25(x + 2,2)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	121,3 ± 2,9	125,3
0,65	141,7 ± 10	131,2
1,6	141 ± 10,7	142,3
3,8	161,8 ± 3,6	164,3

$$\log(254,9 - y) = \log 254,9 - 0,041(x + 7,2)$$

II. Sandgemisch

a) Kalisteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	93,3 ± 1,3	92,1
0,6	127,7 ± 3,6	126,7
1,5	148,2 ± 4,5	160,8
3,6	179,7 ± 4,2	195,9
9	210,9 ± 6,2	210,8

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	97,5 ± 4,2	89,1
0,97	100,4 ± 6,2	107,3
2,44	116,4 ± 2,9	127,1
6,1	155,3 ± 4,2	154,7

$$\log(210,9 - y) = \log 210,9 - 0,25(x + 1)$$

$$\log(172,5 - y) = \log 172,5 - 0,11(x + 2,9)$$

Möhren. I. Reiner Boden

a) Kalisteigerung

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet	x	y gefunden	y berechnet
0	1299 ± 92	1351	0	2272 ± 76	1979
0,6	1413 ± 43,2	1562	0,97	2192 ± 19,7	2091
1,5	1566 ± 87,8	1769	2,44	2180 ± 41,7	2215
3,6	1929 ± 89,3	1983	6,1	2381 ± 86	2383
9	2074 ± 46,5	2067			

$$\log(2174 - y) = \log 2074 - 0,25(x + 1,8) \quad \log(2492 - y) = \log 2492 - 0,11(x + 6,2)$$

c) Stickstoffsteigerung

x	y gefunden	y berechnet
0	586,6 ± 23,5	491
0,65	815,8 ± 9,3	844
1,6	1175 ± 11,1	1108
3,8	1890 ± 30	1807

$$\log(4856 - y) = \log 4856 - 0,041(x + 1,1)$$

II. Sandgemisch

a) Kalisteigerung

b) Phosphorsteigerung

x	y gefunden	y berechnet	z	y gefunden	y berechnet
0	1079 ± 27	987	0	1857 ± 42,2	1687
0,6	1392 ± 29,8	1308,9	0,97	2089 ± 84,9	1907
1,5	1583 ± 45,2	1628,6	2,44	2192 ± 83	2151
3,6	1842 ± 48,5	1940,7	6,1	2392 ± 21,7	2479
9	2078 ± 31,9	2071,9			

$$\log(2109 - y) = \log 2109 - 0,25(x + 1) \quad \log(2693 - y) = \log 2693 - 0,11(x + 3,9)$$

Aus diesen Zahlen wurden dann nach der Ertragsgleichung die Konstanten b und c für die Gefäßversuche ermittelt.

Es folgen nun die Resultate für den Nährstoffvorrat „b“, berechnet nach den Feld- und Gefäßversuchen. Zunächst wurde „c“ überall konstant angesetzt. Folglich waren die Werte für „b“ miteinander vergleichbar.

Bei der Bestimmung des Nährstoffvorrates aus den Ergebnissen der Feldversuche zeigte es sich, daß hier die Schwankungen doch recht beträchtlich sind. Es ist dieses eine leicht zu erklärende Erscheinung. Einmal zeigt der Boden auch auf einem verhältnismäßig kleinen Versuchsstück (hier ca. $\frac{1}{2}$ ha) gewisse Schwankungen in der Beschaffenheit der Krume, dann ist der Untergrund nicht gleichmäßig, und damit ändern sich auch die Wasserverhältnisse

in ihm. Außerdem nutzen die verschiedenen Kulturpflanzen je nach der Tiefe und Ausbreitung ihres Wurzelsystems den Boden mehr oder weniger aus und stellen so einen verschiedenen Nährstoffvorrat in ihm fest; endlich können wir auch bei den Feldversuchen nur geringere Düngergaben verabfolgen und infolgedessen geringere Ertragssteigerungen erzielen. Aus allen diesen Tatsachen ergibt sich, daß die Fehler der Resultate beim Feldversuch größer als die beim Gefäßversuch sein müssen. Bei den nun folgenden Zahlen ist b in dz/ha des zum Versuch benutzten Düngemittels ausgedrückt¹⁾. Der wahrscheinliche Fehler von b wurde auf folgende Art berechnet:

$$b_1 = \frac{\log (A+r) - \log (A-r) - (y-r)}{c} \quad b_2 = \frac{(\log A - r) - \log (A-r) - (y+r)}{c}$$

Dann ist die halbe Summe von b_1 und b_2 der Wert für b , die halbe Differenz gleich seinem wahrscheinlichen Fehler²⁾.

Aus den Feldversuchen wurde folgender Nährstoffgehalt festgestellt:

I. Kali (schwefelsaures Kali).

Senf	4.8 ± 0.6	dz/ha	12,5 %	Größe des wahrscheinlichen Fehlers
Hafer	5.1 ± 1,7	-	33 %	-
Klee	3.1 ± 0,2	-	7 %	-
Möhren	3.6 ± 0,5	-	14,1 %	-
Kartoffeln	3.5 ± 0,9	-	25,5 %	-

II. Phosphor (Superphosphat).

Senf	8.9 ± 0	-	22,5 %	Größe des wahrscheinlichen Fehlers
Hafer	7.1 ± 1,6	-	20,4 %	-
Klee	6.4 ± 0,6	-	9,4 %	-
Möhren	12,3 ± 2,5	-	20 %	-
Kartoffeln	11,4 ± 0,8	-	7 %	-

III. Stickstoff (schwefelsaures Ammoniak).

Senf	4.1 ± 0,5	dz/ha	12,5 %	Größe des wahrscheinlichen Fehlers
Hafer	4.9 ± 1	-	20,4 %	-
(Klee)	27 ± 6	-	22 %	-
(Möhren)	9.9 ± 0	-	-	-
Kartoffeln	8.6 ± 0,8	-	9,3 %	-

Das Kleeresultat der letzten Versuchsreihe ist zum Vergleich nicht heranzuziehen, da es nur angibt, wieviel Stickstoff der Klee durch die Tätigkeit der Knöllchenbakterien aus der Luft aufgenommen hat. Ebenso ist das Resultat des Möhrenversuches der

¹⁾ MITSCHERLICH. Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. S. 48.

²⁾ Ebendorf. S. 65.

Stickstoffreiche nicht zu verwerten. Diese Versuchsreihe war auf einem Feldstück angelegt, das erst im Frühjahr gepflügt worden war. Vorfrucht war Klee, und deshalb war es durch die Stickstoffbildung der Knöllchenbakterien während des Frühjahrs mehr mit Stickstoff angereichert, als der im Herbst gepflügte Acker. Die anderen Resultate liegen trotz großer Schwankungen innerhalb des 4fachen wahrscheinlichen Fehlers.

Bei der Bestimmung des Nährstoffgehaltes des Bodens durch den Gefäßversuch sind die Fehler der Beobachtungen naturgemäß nicht so groß. Es ist bei dieser Art der Versuchsanstellung in viel weitgehenderem Maße die Möglichkeit gegeben, für jedes Gefäß die Wachstumsbedingungen ganz gleich zu gestalten und nur einen Faktor, hier die Düngung, zu verändern. Boden und Pflanzenzahl sind für jedes Gefäß gleich, die Wasserzufuhr wird genau gleichmäßig reguliert, und es können keine Nährstoffverluste durch Versickern entstehen, da das durchgelaufene Wasser immer wieder oben zugegeben wird. Ebenso kann stagnierendes Wasser, wie so oft im Feld, keine Ertragsdepressionen hervorrufen. Es wird ferner beim Gefäßverbrauch immer nur die gleiche Bodenschicht untersucht, während der Untergrund unberücksichtigt bleibt.

Die Resultate der Bestimmung des Nährstoffgehaltes durch den Gefäßversuch waren folgende:

I. Kali (schwefelsaures Kali).

Senf	1,6 \pm 0,1	dz/ha	6 %	Größe des wahrscheinlichen Fehlers
Hafer	1,4 \pm 0,1	"	6 %	"
Klee	2,2 \pm 0,2	"	9 %	"
Möhren	1,8 \pm 0,2	"	11 %	"

II. Phosphor (Superphosphat).

Senf	4,0 \pm 0,1	dz/ha	2,5 %	Größe des wahrscheinlichen Fehlers
Hafer	4,5 \pm 0,3	"	6,7 %	"
Klee	5,3 \pm 1,2	"	22,5 %	"
Möhren	6,2 \pm 0,7	"	11,3 %	"

III. Stickstoff (umgerechnet von Ammonnitrat in schwefelsaures Ammoniak, um Übereinstimmung mit dem Feldversuch zu erhalten).

Senf	1,6 \pm 0,1	dz/ha	6 %	Größe des wahrscheinlichen Fehlers
Hafer	1,5 \pm 0,09	"	6 %	"
(Klee)	11,7 \pm 1,6	"	14 %	"
Möhren	1,8 \pm 0,02	"	1 %	"

Das Stickstoffresultat von Klee fällt aus demselben Grunde wie beim Feldversuch aus. Die Fehler der Möhrenversuche sind doch

verhältnismäßig groß. Bei der geringen Anzahl von Möhrenpflanzen im Gefäß (hier 15) spielt die Individualität der einzelnen Pflanze doch schon eine gewisse Rolle, so daß die Übereinstimmung zwischen den Parallelversuchen nicht sehr befriedigend war und die Mittelzahlen mit großen Fehlern behaftet waren.

Um die Größe der wahrscheinlichen Fehler, ausgedrückt in Prozenten der Beobachtung, bei Feld- und Gefäßversuchen besser vergleichen zu können, sind diese in nachstehender Tabelle noch einmal gegenübergestellt:

I. Kali

	Feldversuch	Gefäßversuch
	Größe der wahrscheinlichen Fehler in %	Größe der Resultate
Senf . . .	12,5 %	6 %
Hafer . . .	33 %	6 %
Klee . . .	7 %	9 %
Möhren . . .	14,1 %	11 %
Kartoffeln .	25,5 %	—

II. Phosphor

	Feldversuch	Gefäßversuch
	Größe der wahrscheinlichen Fehler in %	Größe der Resultate
Senf . . .	—	2,5 %
Hafer . . .	22,5 %	6,7 %
Klee . . .	9,4 %	22,5 %
Möhren . . .	20 %	11,3 %
Kartoffeln .	5 %	—

III. Stickstoff

Senf . . .	12,2 %	6 %
Hafer . . .	20,4 %	6 %
Klee . . .	22,0 %	14 %
Möhren . . .	—	1 %
Kartoffeln .	9,3 %	—

Neben diesen Gefäßversuchen mit reinem Boden wurden zu der Kali- und Phosphorbestimmung auch solche in einem Gemisch von Hohenbockaer Quarzsand und Boden im Verhältnis von 1:1 ange setzt. Jedes Gefäß enthielt 3,5 kg Sand und 3,5 kg Boden. Die

Düngung war dieselbe wie in den entsprechenden Gefäßen mit reinem Boden. Da nur die halbe Bodenmenge vorhanden war, muß auch innerhalb der Versuchsfehler der halbe Nährstoffvorrat sich ergeben. Die Resultate waren folgende:

	Schwefels. Kali	Superphosphat
Senf . . .	0,7 ± 0,1 dz/ha	3,0 ± 0,02 dz/ha
Hafer . . .	0,9 ± 0,01 "	3,0 ± 0,01 "
Klee . . .	1 ± 0,04 "	2,9 ± 0,1 "
Möhren . . .	1,1 ± 0,02 "	3,8 ± 0 "

Von diesen Zahlen ist der Nährstoffgehalt des Hohenbockaer Sandes in Abzug zu bringen, um den des Bodens allein zu erhalten. Dieses Resultat mit 2 multipliziert muß innerhalb der Fehler dieselben Nährstoffmengen ergeben, wie sie in den Gefäßen mit reinem Boden ermittelt wurden. Der Hohenbockaer Sand enthielt: 0,08 dz/ha schwefelsaures Kali und 0,2 dz/ha Superphosphat.

I. Kali

Nährstoffgehalt des Bodens

Versuchs-pflanze	Resultat des Sandgemisch.	Kaligehalt des Sandes	$\} \cdot 2 =$	Errechnet aus d. Sandgemisch	Gefunden in dem Boden
Senf . . .	0,7 ± 0,1	0,08 dz/ha		1,2 ± 0,2 dz/ha	1,6 ± 0,1
Hafer . . .	0,9 ± 0,01	0,08 "		1,6 ± 0,02 "	1,6 ± 0,1
Klee . . .	1 ± 0,04	0,08 "		1,8 ± 0,08 "	2,2 ± 0,2
Möhren . . .	1,1 ± 0,02	0,08 "		2 ± 0,04 "	1,8 ± 0,2

II. Phosphor

Versuchs-pflanze	Resultat des Sandgemisch.	Phosphorgehalt des Sandes	$\} \cdot 2 =$	Errechnet aus d. Sandgemisch	Gefunden in dem Boden
Senf . . .	3,0 ± 0,02	0,2 dz/ha		5,6 ± 0,04 dz/ha	4 ± 0,1
Hafer . . .	3,0 ± 0,01	0,2 "		5,6 ± 0,02 "	4,5 ± 0,3
Klee . . .	2,9 ± 0,2	0,2 "		5,4 ± 0,2 "	5,3 ± 1,2
Möhren . . .	3,8 ± 0	0,2 "		7,6 ± 0 "	6,2 ± 0,7

Bis auf das Resultat der Phosphoruntersuchung bei Senf stimmen die Ergebnisse innerhalb der Fehler überein. Es ist also auch bei diesen Versuchen im Sandgemisch konstant, und man ist berechtigt, diese Art der Versuchsanordnung zur Ermittlung des Nährstoffvorrates an K_2O und P_2O_5 zu benutzen.

Bei der Übertragung der Ergebnisse der Gefäßversuche auf das freie Land stößt man auf gewisse Schwierigkeiten. Im Gefäß wird der Nährstoffgehalt einer Krumenschicht, deren Tiefe wir kennen (ca. 15 cm), ermittelt. Nun ist die Bodenschicht, die unsere Kulturpflanzen auf dem Felde mit ihren Wurzeln durchdringen, ganz verschieden tief. Die Flachwurzler bleiben mit ihrem Wurzelsystem dicht unter der Oberfläche, während die Tiefwurzler eine erheblich dickere Bodenschicht mit ihren Wurzeln aufschließen. Ja, diese Schicht ist für Flachwurzler einerseits und Tiefwurzler andererseits nicht einmal konstant. So können flachwurzelnde Pflanzen durch Nährstoff- oder Wassermangel gezwungen werden, ihre Wurzeln tiefer herabzusenken als gewöhnlich. Ebenso brauchen Tiefwurzler nicht immer gleich weit herunterzugehen, wenn ihnen in den oberen Bodenschichten genügend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stehen. Man hat deshalb angenommen, daß unsere Kulturpflanzen im allgemeinen auf dem Felde die doppelte Nährstoffmenge zur Verfügung haben wie im Gefäß, daß sie also eine Ackerkrume von ca. 30 cm Tiefe zu ihrem Wachstum benötigen¹⁾). Untersucht man daraufhin die Ergebnisse vorliegender Arbeit, dann ergibt sich folgendes:

I. Kali

Versuchs-pflanze	Feldversuch	Gefäßversuch (reiner Boden)
Senf . . .	4,8 ± 0,6 dz/ha	1,4 ± 0,1 dz/ha
Hafer . . .	5,1 ± 1,7 ..	1,6 ± 0,1 ..
Klee . . .	3,1 ± 0,2 ..	2,2 ± 0,2 ..
Möhren . . .	3,6 ± 0,5 ..	1,8 ± 0,2 ..

II. Phosphor

Senf . . .	8,8 ± 0 dz/ha	4,0 ± 0,1 dz/ha
Hafer . . .	7,1 ± 1,6 ..	4,5 ± 0,3 ..
(Klee . . .)	6,4 ± 0,6 ..	5,3 ± 1,2 ..
Möhren . . .	12,3 ± 2,5 ..	6,2 ± 0,2 ..

III. Stickstoff

Senf . . .	4,1 ± 0,5 dz/ha	1,6 ± 0,1 dz/ha
Hafer . . .	4,9 ± 1 ..	1,5 ± 0,09 ..
Klee . . .	27 ± 6 ..	11,7 ± 1,6 ..
Möhren . . .	9,9 ..	1,8 ± 0,02 ..

¹⁾ MITSCHERLICH. Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. S. 60

Vergleicht man in dieser Zusammenstellung die Ergebnisse, so betragen die Resultate innerhalb des 4fachen wahrscheinlichen Fehlers das doppelte derer des Gefäßversuches.

In folgender Tabelle ist der Multiplikator aufgestellt, mit dem das Ergebnis des Gefäßversuches zu multiplizieren ist, um das des Feldversuches zu erhalten:

Versuchspflanze	Multiplikator		
	a) Kali	b) Phosphor	c) Stickstoff
Senf	3	2,2	2,5
Hafer	3,2	1,6	3,3
Klee	1,4	1,3	2,3
Möhren	2	2	—
	Mittel $\pm R = 2,4 \pm 0,3$	$1,8 \pm 0,2$	$2,7 \pm 0,2$

Es ergibt sich aus dieser Zusammenstellung, daß man berechtigt ist, das Ergebnis des Gefäßversuches zu verdoppeln, um den Nährstoffgehalt des Bodens zu erhalten. Führen wir diese Multiplikation mit 2 bei den „b“ der Gefäßversuche durch, so erkennt man deutlich die Übereinstimmung beider Methoden:

I. Kali

Versuchspflanze	Gefäßversuch } . 2 = {		Zum Vergleich Resultat des Feldversuches
	(reiner Boden)	Resultat	
Senf	$1,4 \pm 0,1$	$2,8 \pm 0,2$	$4,8 \pm 0,6$
Hafer	$1,6 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$	$5,1 \pm 1,7$
Klee	$2,2 \pm 0,2$	$4,4 \pm 0,2$	$3,1 \pm 0,2$
Möhren	$1,8 \pm 0,2$	$3,6 \pm 0,4$	$3,6 \pm 0,5$

II. Phosphor

Senf	$4,0 \pm 0,1$	$8,0 \pm 0,2$	8,8
Hafer	$4,5 \pm 0,3$	$9,0 \pm 0,6$	$7,1 \pm 1,6$
Klee	$5,3 \pm 1,2$	$10,6 \pm 2,4$	$6,4 \pm 0,6$
Möhren	$6,2 \pm 0,7$	$12,4 \pm 1,4$	$12,3 \pm 2,5$

III. Stickstoff

Senf	$1,6 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,2$	$4,1 \pm 0,5$
Hafer	$1,5 \pm 0,09$	$3,0 \pm 0,18$	$4,9 \pm 1$
(Klee)	$11,7 \pm 1,6$	$23,4 \pm 3,2$	27 ± 6
Möhren	$1,8 \pm 0,02$	$3,6 \pm 0,04$	$(9,9)$

Zusammenfassend haben die Untersuchungen über den Nährstoffgehalt des Bodens ergeben: „b“ ist im Gefäßversuch unabhängig von der Versuchspflanzenart und konstant, da es sich um dieselbe untersuchte Bodenschicht handelt. Die auftretenden Schwankungen sind gering. Bei den Feldversuchen sind diese größer, da die Tiefe der von den Pflanzen aufgeschlossenen Bodenschicht nach deren Bewurzelung wechselt. Bei der Übertragung der Ergebnisse des Gefäßversuches auf das freie Land ist die im Gefäß ermittelte Nährstoffmenge zu verdoppeln.

Es folgen nun die Untersuchungen über die 2. Konstante im Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. Es ist dieses der Wirkungsfaktor eines Pflanzennährstoffes beziehungsweise Düngemittels, das „c“ der Formel. Dieser Wirkungsfaktor gibt an, wie das Düngemittel auf den Ertrag der Pflanze einwirkt und wie schnell bei stetiger Zugabe desselben der Höchstertrag erreicht wird. Beispielsweise hat Kali insbesondere in Anwesenheit von Natrium einen großen Wirkungswert und seine Ertragskurve nähert sich schnell ihrem Höchstwert. Bei Stickstoff ist die Steigerung langsamer und seine Ertragskurve hat fast die Gestalt einer stetig ansteigenden Geraden.

Dieser Wirkungsfaktor ist nun konstant für alle Pflanzen im Gefäß- und Feldversuch und unabhängig von Boden und Klima vorausgesetzt, daß er nicht im Boden, bevor er für die Pflanze zur Wirkung gelangt, weitgehende chemische Veränderungen erfährt. Der Beweis für die Konstanz ist durch zahlreiche Gefäß- und Freilandversuche erbracht worden¹⁾. Dasselbe Ergebnis lieferten die Versuche vorliegender Arbeit:

I. Kali

Versuchspflanze	Feldversuch	Gefäßversuch	
		a) reiner Boden	b) Sandgemisch
Senf	0,25 ± 0	0,25 ± 0,01	0,24 ± 0,01
Hafer	0,23 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,24 ± 0,01
Klee	0,27 ± 0,01	0,26 ± 0,01	0,25 ± 0
Möhren	0,25 ± 0,01	0,26 ± 0	0,27 ± 0,01
Kartoffeln	0,25 ± 0	—	—
Mittel	0,25 ± 0,003	0,25 ± 0,005	0,25 ± 0,003

¹⁾ MITSCHERLICH. Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens. S. 60

II. *Phosphor*

Senf	0,11 ± 0,01	0,11 ± 0	0,10 ± 0
Hafer	0,12 ± 0,01	0,11 ± 0	0,11 ± 0
Klee	0,11 ± 0	0,11 ± 0	0,11 ± 0
Möhren	0,12 ± 0,01	0,13 ± 0	0,11 ± 0
Kartoffeln	0,11 ± 0	—	—
Mittel	0,11 ± 0,003	0,11 ± 0	0,11 ± 0

III. *Stickstoff*

Versuchspflanze	Schwefels. Ammoniak	Ammonnitrat
Senf	0,025 ± 0	0,041 ± 0
Hafer	0,026 ± 0,001	0,041 ± 0
Klee	0,027 ± 0	0,041 ± 0,003
Möhren	—	0,041 ± 0,002
Kartoffeln	0,025 ± 0	—
Mittel	0,025 ± 0	0,041 ± 0

Die Mittelzahlen wurden nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz, dividiert durch die Anzahl der Beobachtungen, errechnet:

$$M = \frac{(a + b + c + d) + \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_4^2}}{n}$$

Es ergibt sich für die in diesen Versuchen gebrauchten Düngemittel folgender Wirkungswert:

Schwefelsaures Kali	0,25	dz ha
Superphosphat	0,11	"
Schwefels. Ammoniak	0,025	"
Ammonnitrat	0,041	"

Die Untersuchungen über die Konstante „c“ haben zusammenfassend ergeben: Der Wirkungsfaktor der zu diesen Versuchen angewandten Düngemittel ist konstant für Gefäß- und Feldversuche und unabhängig von der Pflanzenart. Bei schwefelsaurem Kali und Superphosphat treten geringe Schwankungen auf, während die Resultate der stickstoffhaltigen Düngemittel fehlerfrei sind.

Abstract

The results of the investigations relating to the constante „c“ are briefly as follows: The effect of the fertilizers used in these trials has proved constant in pot and field trials, independant of the plant species. In using sulphuric potassium and superphosphate there appear slight deviations, while the results of the nitrogen containing fertilizers are without errors.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1929

Band/Volume: [24](#)

Autor(en)/Author(s): Grigull Kurt

Artikel/Article: [Untersuchungen über die Fehler der Konstanten im Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren 424-443](#)