

Witterungsfaktoren und Ertrag von Gefäßversuchen

Feldversuche sind von der Jahreswitterung (Wärme, Niederschläge, Verdunstung) abhängig. Aber auch die Umsetzungen der Bodenorganismen, sowohl der Mikroflora als auch der Fauna, werden von Wärme und Feuchtigkeit beeinflusst und sind an der Bereitstellung wirksamer Mengen der im Boden vorliegenden Nährstoffe beteiligt, wie die Jahre 1959 und 1960 recht deutlich gezeigt haben.

Bei Gefäßversuchen kann ein Teil der genannten Faktoren, insbesondere die Wasser- und Nährstoffversorgung, geregelt werden. Zur Prüfung dieser klimatischen Faktoren wurden Gefäßversuchsreihen mit gleichen Böden, gleichen Versuchspflanzen und gleichem Versuchsplan an verschiedenen Orten schon des öfteren durchgeführt. Da das Wachstum vorwiegend von der jeweils vorliegenden Witterung der Vegetationszeit, weniger von dem Klima eines Gebietes abhängt, sollte präziser von *Witterungsfaktoren* gesprochen werden. Letztere beeinflussen als Komplex (Wärme, Niederschläge, Verdunstung u. a. m.) in gleicher Weise den Ertrag der Gefäßversuche an einem Standort. Bei dem Vergleich der Ergebnisse von Gefäßversuchen verschiedener Standorte ist demnach mit Veränderungen der Wirkungsfaktoren des von E. A. MITSCHERLICH aufgestellten Ertragsgesetzes (4,12) zu rechnen, sofern der Witterungsverlauf an den gewählten Standorten zufällig nicht gleich gewesen ist.

Die mathematische Formulierung des Ertragsgesetzes führte zu Gleichung $y = A(1 - 10^{-cx})$; darin bedeuten y den Ertrag bei der Nährstoffabgabe x , A den Höchstertag und „ c “ den Wirkungsfaktor des jeweiligen Nährstoffes. Logarithmiert lautet die obige Gleichung: $\log(A - y) = \log A - c(x + b)$, wobei nunmehr durch „ b “ die im Boden bereits vorliegende Nährstoffmenge, die bei x_0 zu dem Ertrag y_0 führt, einbezogen ist. Größere Stickstoffgaben führen zu negativen Abweichungen von dem zu berechnenden Kurvenverlauf, die z. T. durch geteilte Gaben vermindert werden können (1, 6, 11).

E. A. MITSCHERLICH (9) berichtete über die Ergebnisse einer internationalen Gemeinschaftsarbeit zur Erfassung klimatischer Einflüsse auf die ertragssteigernde Wirkung der Pflanzennährstoffe, wobei Gefäßversuche mit gleichen Böden nach gleichem Versuchsplan sowie gleicher Versuchsdurchführung in klimatisch unterschiedlichen Orten durchgeführt wurden. Im ozeanischen Klimagebiet kamen die Versuche in Aberdeen, Stockholm und Königsberg, im kontinentalen Klima in Turin, Bukarest, Klausenburg, Breslau und Landsberg/Warthe zur Durchführung. Weitere vergleichende Versuche wurden in Honolulu (Hawaii) (7) und Königsberg durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten, daß sowohl die Wachstumszeit als auch die Erträge sowie die aus diesen zu errechnenden Wirkungsfaktoren z. T. erhebliche Differenzen aufwiesen. Das Reagenz „Pflanze“, in allen Fällen die gleiche Hafersorte, wurde durch klimatische Faktoren (Licht, Wärme, Feuchtigkeit) sowie gleichzeitig durch die Wirkung der angebotenen Nährstoffe erheblich, jedoch nicht einheitlich beeinflusst.

Es fragt sich nun, inwieweit die Ergebnisse durch zufällige und systematische Fehler in der Versuchs-

anstellung beeinflusst wurden. Die Wasserversorgung kann z. B. bei unterschiedlichen Verdunstungsgrößen bzw. Sättigungsdefiziten zu systematischen Fehlern führen. Die Kenntnis der Korrelation zwischen Verdunstung und Häufigkeit der Wasserversorgung und deren Beachtung bei der Versuchsdurchführung können zu einer weitgehenden Verringerung dieses systematischen Fehlers beitragen, bzw. bei gelegentlichen nicht schnell genug registrierten Veränderungen der Temperatur und der Verdunstung als zufällige Fehler in Erscheinung treten.

Weiterhin treten gegenüber dem Boden in Gefäßen wesentlich höhere Temperaturunterschiede durch Sonneneinstrahlung und Wärmeabgabe auf, wofür BANSE (3) Material beibrachte. Bei vergleichenden Versuchen in klimatisch unterschiedlichen Gebieten sollte für eine Dämmung der Erwärmung sowie Wärmeabgabe der Gefäße durch isolierende Umwandlung gesorgt werden, wofür sich nach unseren Beobachtungen Kokosmatten entsprechender Größe, aber auch andere, billigere Isolierungen als geeignet erwiesen haben.

Um den Einfluß der Witterungsfaktoren an ein und demselben Standort kennenzulernen, sei im folgenden auf die Ergebnisse von in Völkenrode ausgeführten Gefäßversuchen mit steigenden Stickstoffgaben ohne organische Düngung in den Jahren 1955 bis 1960 eingegangen. In diesen Versuchen wurde der Wirkungsfaktor für Stickstoff als Grundlage für die Ermittlung des physiologisch wirksamen Stickstoffanteiles organischer Dünger in den einzelnen Jahren möglichst genau bestimmt.

E. A. MITSCHERLICH (10) sah den Wirkungsfaktor als konstant und den Höchstertag von der momentanen Konstellation sämtlicher anderer Wachstumsfaktoren als variabel an. Erfahrungsgemäß (9) führt das Produkt aus $c \cdot A$ in gewissen Grenzen und einer gewissen Streubreite zu übereinstimmenden Werten. Es liegt, wie ATANASIU zeigte, eine gegenseitige Abhängigkeit vor (2). Um den Wirkungsfaktor „ c “, durch den der Winkel der Anstiegstangente sowie die Ertragszunahme je Einheit Nährstoff (in diesem Falle Stickstoff) gekennzeichnet wird, in den einzelnen Jahren eindeutiger zu kennzeichnen, wurde der durch Stickstoff zu erzielende, jedoch nicht erreichbare Höchstertag mit rund 300 g/Gefäß eingesetzt.

Der jeweilige Faktor „ c “ wurde durch möglichst weitgehende Anpassung der berechneten Werte an die gefundenen Erträge im Bereich von 0 bis 1 g N/Gefäß ermittelt. Dabei wurden die in Bild 1 wiedergegebenen Ergebnisse (1958/60) erzielt.

Die logarithmische Funktion wurde in den einzelnen Jahren durch folgende Werte festgelegt:

Jahr	A	„c“	„b“
1955	300	0,20	0,08
1956	300	0,21	0,09
1957	310	0,22	0,08
1958	300	0,20	0,08
1959	300	0,15	0,14
1960	310	0,26	0,05

Übersicht 1
Hafererträge; Trockenmasse (Korn + Stroh)
(g/Gefäß)

N g/Gefäß	1958		1959		1960	
	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet
0	10,4 ± 0,5	10,9	14,3 ± 0,5	14,2	8,3 ± 0,2	8,2
0,25	42,5 ± 0,7	42,9	36,3 ± 0,9	37,8	50,0 ± 1,3	50,2
0,50	71,8 ± 2,9	70,4	54,0 ± 4,8	59,5	88,2 ± 0,7	86,3
0,75	—	—	79,6 ± 6,3	79,4	118,4 ± 0,7	117,4
1,00	121,5 ± 4,3	117,6	95,1 ± 1,9	97,6	138,6 ± 1,9	144,2

Die physiologisch wirksame Stickstoffmenge „b“ des jeweils verwendeten Boden-Sand-Gemisches zeigt je nach dessen Mengen an pflanzenzugänglichem Stickstoff in den einzelnen Jahren unterschiedliche Werte.

Die Wirkungsfaktoren „c“ zeigten nur in den Jahren 1959 und 1960 größere Abweichungen.

Im folgenden seien die Ergebnisse der witterungsmäßig unterschiedlichen Jahre 1958, 1959 und 1960 eingehender behandelt. In Boden-Sand-Gemischen (1:2) wurden bei steigenden Stickstoffgaben (in Form von NH_4NO_3) die in Übersicht 1 angegebenen Erträge erzielt.

Im Anstiegsgebiet bis 1 g N/Gefäß ist die Übereinstimmung der berechneten mit den gefundenen Werten unter Berücksichtigung der in einigen Fällen beträchtlichen Streuung befriedigend. Schon geringe Veränderungen von „c“ oder „b“ führen zu geringeren Übereinstimmungen der gefundenen und berechneten Werte.

Je nach der Höhe des Wirkungsfaktors „c“ war die Leistung des mineralischen Stickstoffs in den

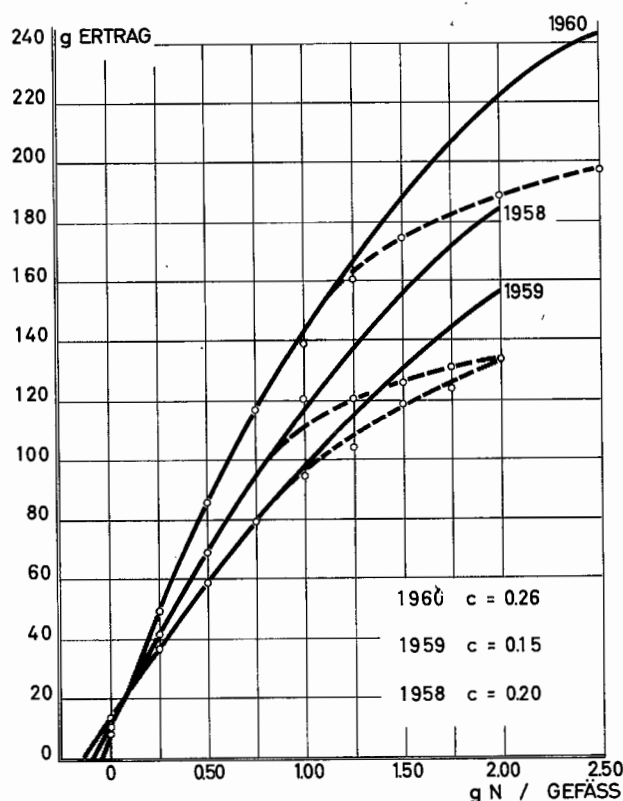


Bild 1: Ertragsverlauf bei steigenden Stickstoffgaben, 1958/60.

drei Jahren recht unterschiedlich, wie die Ertragszunahmen (Trockensubstanz, Korn u. Stroh) zeigen (Übersicht 2).

Übersicht 2
Zunahme der Hafererträge; Trockenmasse
(Korn + Stroh)
(g/Gefäß)

N g/Gefäß	1959	1958	1960
0,25	22,0	32,1	41,7
0,50	39,7	61,4	79,9
Wirkungsfaktor c	0,15	0,20	0,26

Im folgenden seien die Witterungsfaktoren Wärme, Niederschläge und Verdunstung in den Vegetationsmonaten April bis Juli der drei Jahre angeführt.

Lufttemperatur

Um ein übersichtliches Bild der Lufttemperaturen zu gewinnen, wurden bei der graphischen Darstellung Dekadenmittel verwendet (Bild 2). Die Mittelwerte der einzelnen Monate in den drei Jahren ergaben insbesondere im April größere Unterschiede (Übersicht 3). Die Temperaturen im

Übersicht 3
Lufttemperaturen; 2 m über Bodenoberfläche
(°C)

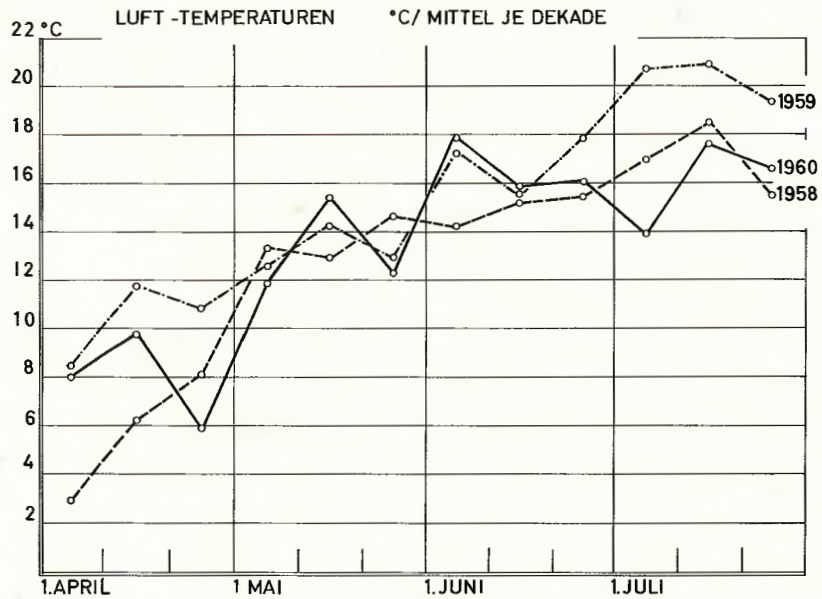
Jahr	April	Mai	Juni	Juli	April b. Juli
1958	5,7	13,6	14,9	16,9	12,8
1959	10,3	13,2	16,9	20,3	15,2
1960	7,9	13,2	16,5	16,0	13,4

April sind für die um den 1. April eines jeden Jahres angesetzten Gefäßversuche und den Aufgang sowie erste Jugendentwicklung der Pflanzen von beträchtlicher Bedeutung, wie weiter unten noch gezeigt werden soll.

Verdunstung

Mit dem Temperaturverlauf ist das Sättigungsdefizit bzw. die Verdunstung verbunden; in diesen Größen ist die Wassersättigung der Luft und in gewissem Grade auch die Beeinflussung der Verdunstung durch Wind miteinfaßt. Es wurden in Bild 3 wiederum Dekadenwerte für die Verdunstung verwendet, um den allgemeinen Verlauf

Bild 2: Lufttemperaturen in 2 m Höhe über der Bodenoberfläche; April bis Juli 1958/60.



in den einzelnen Jahren zu kennzeichnen. Wie aus Bild 3 hervorgeht, liegt die Verdunstung (in mm je Tag) 1959 in den Dekadenmittelwerten über denjenigen der Monate April bis Juli 1958. 1960 dagegen zeigt der Verlauf erhebliche Schwankungen. Die Mittelwerte der einzelnen Monate sind in Übersicht 4 angeführt.

Bildet man den Quotienten aus Verdunstung (mm) und Niederschlägen (mm), so sind 1959 die Werte aller Dekaden > 1 . Bei den unter natürlichen Bedingungen nur selten, in Gefäßversuchen aber weitaus häufiger vorliegenden Wachstumsbedingungen (feuchter Standort und hohes Sättigungsdefizit der Luft) muß infolge hoher Transpiration und Verdunstung mit zeitweiligem Wassermangel während der Vegetationszeit gerechnet werden.

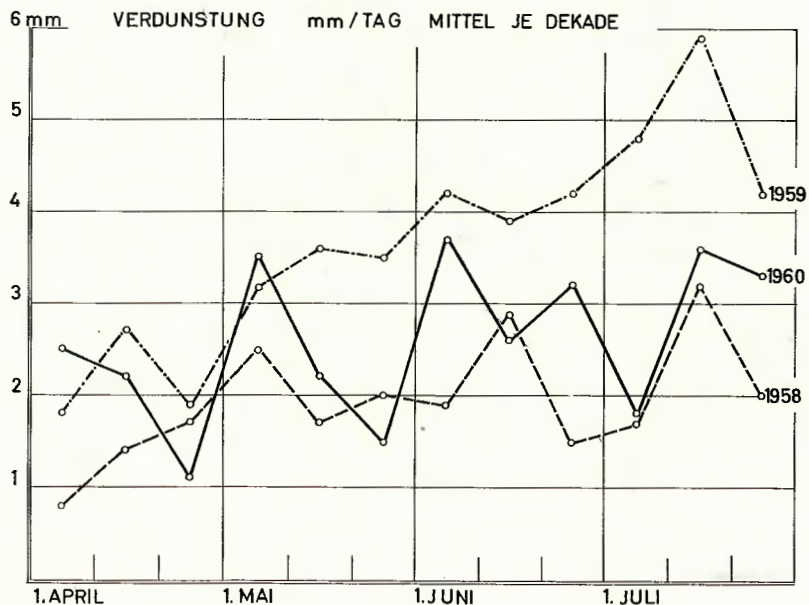
Die Erträge des Jahres 1959 zeigen eine unter dem Mittel liegende Wirkung des Stickstoffs, die durch den Wirkungsfaktor von $c = 0,15$ und Ertragszunahmen von 39,7 g Trockenmasse (Korn u. Stroh) durch 0,5 g N/Gefäß gekennzeichnet wurde. Auf Grund der Untersuchungen von VAN DER PAAUW (14)

Übersicht 4
Monatsmittel der Verdunstung
(mm/Tag)

Jahr	April	Mai	Juni	Juli	April b. Juli
1958	1,3	2,1	2,1	2,3	1,9
1959	2,1	3,4	4,1	4,9	3,6
1960	1,9	2,4	3,2	2,8	2,6

tritt bei voll ausreichendem Wasserzustand des Bodens eine Korrelation der Temperatur und der Transpiration auf. Dabei muß allerdings weiter damit gerechnet werden, daß an Tagen mit hoher Temperatur und trockenen Winden bei freistehenden Gefäßen (etwa 1 m über der Bodenoberfläche) bei hoher Transpiration und Verdunstung trotz ausreichender Bodenfeuchte ein Wasserdefizit nicht völlig auszuschließen ist. Das dürfte für eine beträchtliche Anzahl von Tagen 1959 zugetroffen haben. Dieser zeitweise Wassermangel bei ausreichen-

Bild 3: Verdunstung in den Monaten April bis Juli 1958/60.



der Bodenfeuchte infolge hoher Transpiration und Evaporation ist als „klimatischer Faktor“ anzusprechen, der durch zufällig oder insbesondere systematische Fehler der Wasserzufuhr mehr oder weniger verstärkt werden kann.

Die günstigen Bedingungen 1960, gekennzeichnet durch $c = 0,26$ und Ertragszunahmen von 79,9 g durch 0,5 g N/Gefäß, dürften mit hohen Temperaturen im April sowie mit einer 20tägigen feuchtwarmen Periode im Mai in Verbindung zu bringen sein. Aber auch im Juni überwogen während einer Dekade die Niederschläge die Verdunstung, so daß Wärme und geringe Sättigungsdefizite über längere Perioden hinweg vorlagen. Insgesamt standen dem Hafer infolge frühzeitiger Entwicklung

im April eine relativ lange Vegetationszeit zur Verfügung. Zeitweilige Defizite an Wasser dürften als zufällige Fehler der Versuchsdurchführung nur kurzfristig aufgetreten sein.

Seit 1957 wurde die Verdunstung mit dem von E. A. MITSCHERLICH entwickelten Verdunstungsmesser (5, 8) gemessen und mit dem aus dem Sättigungsdefizit zu berechnenden Werten, die dem Verfasser von der Wetterwarte und agrarmeteorologischen Beratungsstelle im Gelände der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellt wurden, verglichen. Dabei traten die in Übersicht 5 wiedergegebenen Mittelwerte (mm/Tag) in den einzelnen Monaten auf.

Übersicht 5
Vergleich der berechneten und gemessenen Monatsmittel der Verdunstung
(mm/Tag)

Jahr	Mai		Juni		Juli		August		September	
	ber. ¹⁾	gem.	ber. ¹⁾	gem.	ber. ¹⁾	gem.	ber. ¹⁾	gem.	ber. ¹⁾	gem.
1957	—	—	—	—	2,96	2,49	1,93	2,04	1,12	1,21
berechnet ²⁾	—	—	—	—	2,83	2,68	2,00	2,05	1,08	1,27
1958	2,66	1,99	2,12	2,00	2,26	2,21	2,47	2,54	2,12	1,91
berechnet ²⁾	1,96	1,96	1,08	2,00	2,18	2,11	2,40	2,62	2,12	1,96
1959	3,43	4,79	4,07	6,43	4,86	5,67	3,20	2,82	3,44	2,41
berechnet ²⁾	3,50	4,68	4,10	5,57	4,50	5,61	3,25	2,84	3,41	2,40
1960	1,87	2,30	3,16	2,77	2,83	2,66	2,09	2,14	1,63	2,13
berechnet ²⁾	1,70	2,30	3,21	2,94	2,76	2,90	1,98	2,25	1,67	2,14

¹⁾ aus Sättigungsdefizit berechnet
²⁾ aus Häufigkeit der Klassenmittel berechnet

Die Zusammenstellung zeigt, daß mit Ausnahme des Jahres 1959 die Übereinstimmung innerhalb der zwei Methoden befriedigend ist. In dem trockenen, warmen Jahr 1959 mit hohem Sättigungsdefizit zeigte der Verdunstungsmesser in den Monaten Mai, Juni und Juli die höheren Werte. Bei geringem Sättigungsdefizit wurden mit dem Verdunstungsmesser zumeist niedrigere Werte erhalten. Teilt man die Werte in Klassen (etwa jeweils um 1 mm Verdunstung steigend) und errechnet aus der Gesamtverdunstung sowie der Berücksichtigung der Zahl der Beobachtungen (n) den Mittelwert (f) je Klasse, so kommt man im Bereich von 1—2 mm bis 4—5 mm Verdunstung zu den zu erwartenden Mittelwerten, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Verdunstung (Klassen) (mm)	Aus Sättigungsdefizit berechnet		Verdunstung gefunden	
	n =	f =	n =	f =
> 5	54	6,22	76	6,81
> 4—5	56	4,53	47	4,48
> 3—4	82	3,50	74	3,50
> 2—3	124	2,54	131	2,51
> 1—2	127	1,52	134	1,64
≤ 1	105	0,62	86	0,48

Bei hoher Verdunstung (> 5 mm/Tag) werden mit dem Verdunstungsmesser höhere Werte gefunden, bei geringer Verdunstung (< 1 mm) dagegen aus dem Sättigungsdefizit zu hohe Werte berechnet. Aus der Verteilung der

monatlichen Werte in die einzelnen Klassen wurden die in der Zusammenstellung angegebenen berechneten Werte ermittelt, wobei glatte Faktoren (4.50; 3.50; 2.50 1.50 und 0.50) verwendet wurden. Nur in der Klasse „> 5“ wurden die erhaltenen eingesetzt, da hier die über 5 (bis 10 mm) liegenden Werte zusammengefaßt wurden. Die Übereinstimmung der aus der Häufigkeit berechneten Werte mit den Verdunstungswerten ist befriedigend.

In kürzeren Zeitspannen (etwa eine Woche oder im Laufe eines Tages) zeigen die Verdunstungswerte beider Methoden oftmals nur geringe Übereinstimmung.

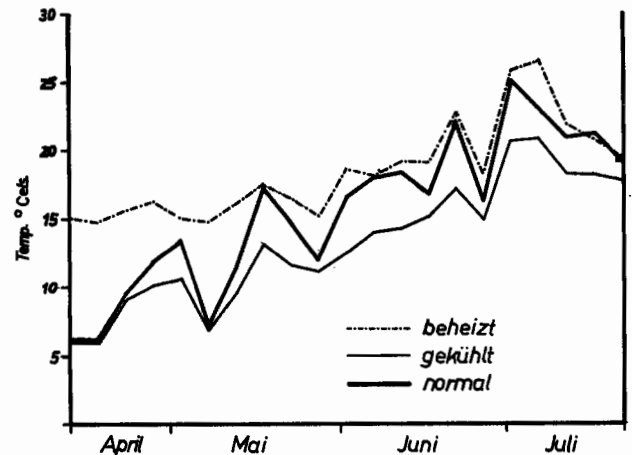


Bild 4: Temperaturverlauf in den Gefäßen während der Vegetation (5-Tages-Mittelwerte) (nach BANSE).

Übersicht 6
Hafererträge 1956; Trockenmasse (Korn + Stroh)
(g/Gefäß)

N g/Gefäß	normale Behandlung Ernte am 8. 8. 1956 A = 300, c = 0,21, b = 0,090		mit Bodenerwärmung Ernte am 2. 8. 1956 A = 300, c = 0,21, b = 0,085		mit Bodenkühlung Ernte am 14. 8. 1956 A = 300, c = 0,18, b = 0,080	
	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet	gemessen	berechnet
0	12,6 ± 0,2	12,8	12,4 ± 0,4	12,2	9,7 ± 0,1	9,8
0,25	45,5 ± 0,5	45,5	44,9 ± 0,9	44,3	36,8 ± 0,4	38,3
0,50	75,0 ± 0,6	74,5	72,9 ± 1,1	73,9	63,7 ± 0,1	64,1
1,00	114,4 ± 1,0	122,9	115,2 ± 3,2	122,5	108,0 ± 0,8	108,3

Bodenwärme.

Des weiteren wurden Untersuchungen mit unterschiedlicher Bodenwärme durchgeführt. Um den Faktor Bodenwärme insbesondere im April und Mai auf eine geeignet erscheinende Mindestwärme einstellen zu können, wurden in die Gefäße Heizaggregate eingebaut, über die von BANSE (3) berichtet wurde. Desgleichen wurde eine Kühlung des Bodens im Gefäß durchgeführt. Der Verlauf der Bodentemperatur im Gefäß sei durch die Bilder 4 und 5 wiedergegeben.

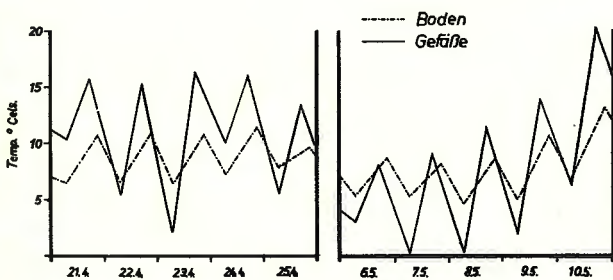


Bild 5: Temperaturverlauf in den Gefäßen und im Boden im Verlauf von jeweils fünf Tagen (nach BANSE).

Die sofortige Einstellung einer Mindesttemperatur von 15°C führte zu einem schnellen Wachstum. Die Ernte erfolgte acht Tage vor den normal beschickten Gefäßen. SCHATTNER (13) fand bei Zuckermohrrhirse und Buchweizen sichere, bei Sommergerste dagegen keine (bzw. innerhalb der Fehler liegende) Ertragszunahmen bei steigenden Bodentemperaturen. Auf erhöhte Temperatur hat auch der Hafer, wie folgendes Ergebnis zeigt, im Ertrage bei einer Stickstoffdüngung von 1,0 g/Gefäß nicht angesprochen. Durch Kühlung wurde in den hiesigen Versuchen die Entwicklung dagegen verlangsamt und der Ertrag gesenkt. Die Erträge und die kennzeichnenden Wirkungsfaktoren eines Versuches mit einem Boden-Sand-Gemisch ohne organische Düngung sind in der Übersicht 6 zusammengestellt.

Durch die Erhöhung der Bodenwärme wurde der Ertrag nicht gesteigert, die Wachstumszeit jedoch

verkürzt (normal: 125 Tage; mit Bodenerwärmung: 118 Tage; mit Kühlung: 133 Tage). Der Ertragsverlauf bei steigenden N-Gaben konnte mit gleichen Faktoren wie bei dem üblichen Verfahren berechnet werden. Durch die Kühlung trat jedoch eine Verzögerung des Wachstums sowie eine geringere Ertragszunahme bei voller Stickstoffaufnahme ein.

Daneben wurde der Wachstumsverlauf durch Zeitertragskurven bestimmt. Ein Versuchsergebnis ist in Bild 6 graphisch wiedergegeben.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei höherer Bodenwärme die mit größeren N-Gaben verbundene Verzögerungsphase schneller durchlaufen wird. Der Endertrag bei zwei unterschiedlich hohen Stickstoffgaben sei in Relativwerten angegeben:

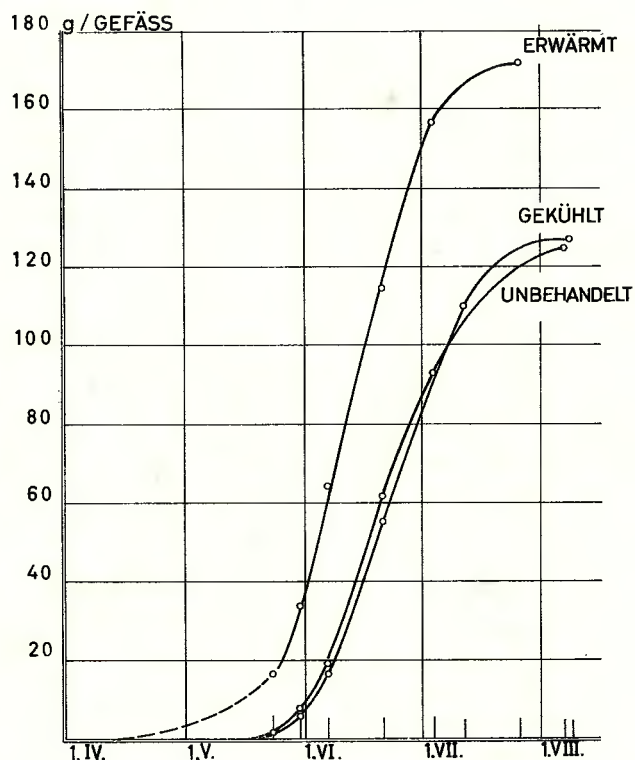


Bild 6: Zeitertragskurve für Hafer bei verschiedener Bodentemperatur und hoher Stickstoffgabe.

	750 mg N/Gefäß	1750 mg N/Gefäß
normal	100	100
bei Bodenerwärmung	108	138
bei Bodenkühlung	94	101

Erst bei höheren Stickstoffgaben führt eine von Versuchsbeginn an eingestellte höhere Bodentemperatur zu einer Ertragszunahme gegenüber den üblichen durchgeführten Gefäßversuchen. Die Erträge nehmen bei höheren Bodentemperaturen in Verbindung mit voll ausreichendem hohem Nährstoffangebot erheblich zu. Die mit letzterem verbundene Verzögerungsphase wird abgekürzt und damit die Vegetationszeit trotz früheren Erntetermins verlängert. Von 10 g Ertrag (Trockenmasse) ausgehend standen dem Hafer bis zur Reife in den wie üblich behandelten Gefäßen 66 Tage, in den erwärmten Gefäßen jedoch 72 Tage zur Verfügung.

Zusammenfassung

1. Bei annähernd gleichen Höchstertträgen A (nach MITSCHERLICH) wurden 1955 bis 1958 annähernd übereinstimmende Wirkungsfaktoren für Stickstoff von 0,20 bis 0,22 ermittelt. 1959 und 1960 wurden abweichende Wirkungsfaktoren mit entsprechend unterschiedlichen Ertragszunahmen durch 0,5 g N/Gefäß erhalten. Die Lufttemperatur sowie die Verdunstung während der Vegetationsperiode 1959 lagen weit über den 1958 gemessenen Werten. Temperatur und Verdunstung lagen 1960 zwischen den Werten von 1958 und 1959. Die weitaus höchsten Ertragszunahmen wurden 1960 erzielt. Dementsprechend war der Wirkungsfaktor für Stickstoff 1960 höher als in den vorangegangenen fünf Jahren.

2. Die mittels des MITSCHERLICH'schen Verdunstungsmessers erzielten Werte ergaben mit der aus den Sättigungsdefiziten berechneten Verdunstung 1957, 1958 und 1960 über längere Perioden befriedigende Übereinstimmung, die in kurzfristigen Zeitspannen jedoch nicht vorliegt. 1959 wurden in den Monaten Mai, Juni und Juli mit dem Verdunstungsmesser höhere Werte gefunden.

Aus der Häufigkeit der in einem Monat auftretenden Werte gleicher Klassen können die Verdunstungswerte durch Multiplikation mit dem Klassenmittel recht genau berechnet werden.

3. Die Bodenwärme zeigt in Gefäßen größere Schwankungen als im Ackerboden. Durch Isolierung der Gefäße können die Schwankungen der Bodentemperatur durch Einstrahlung des Tages und Wärmeabgabe des Nachts verringert werden.

Erhöhung der Bodentemperatur führt bei Stickstoffgaben bis 1,0 g N/Gefäß zu einer schnelleren Jugendentwicklung des Hafers, jedoch zu keiner Ertragszunahme. Der Ertragsverlauf bei steigenden N-Gaben entspricht den üblich behandelten Gefäßen. Der Wirkungsfaktor wird ebenfalls nicht verändert.

Bei hohen N-Gaben führt Bodenerwärmung zu erhöhten Erträgen, die mittels einer Zeitertragsuntersuchung belegt wurden. Senkung der Bodentemperatur führt zu einer langsameren Entwicklung des Hafers und zu geringerer Leistung der zugeführten N-Gaben. Der Wirkungsfaktor „c“ ist niedriger.

4. Durch die Witterungsfaktoren, insbesondere hohe Wärme und hohes Sättigungsdefizit, können in Gefäßversuchen methodische Fehler auftreten; kurzfristig auftretender Wassermangel ist bei hohen Temperaturen verbunden mit hoher Evaporation und Transpiration kaum zu umgehen und ist als zufälliger Fehler zu betrachten, sofern der Wassermangel durch Nichtbeachtung der Witterungsfaktoren nicht chronisch wird und dann als systematischer Fehler bezeichnet werden muß.

Schrifttumsnachweis

1. ATANASIU, N.: Ein Beitrag zum Studium der Ertragsdepressionen durch Stickstoff. 6. Mitt. — Z. Acker- u. Pflanzenbau **96** (1953) S. 137—172.
2. ATANASIU, N.: Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren und seine Bedeutung für Forschung und Praxis. — Sitz.-Ber. d. Dt. Akad. d. Landwirtschaftswiss. zu Berlin. Bd. III, H. 14. Leipzig: S. Hirzel Verl. 1954.
3. BANSE, H.-J.: Ein Verfahren zur Beeinflussung der Bodenwärme im Gefäßversuch. — Landbauforsch. Völkenrode **7** (1957) S. 91—93.
4. v. BOGUSLAWSKI, E.: Das Ertragsgesetz. In: Handb. d. Pflanzenphysiol. Bd. IV, S. 943. — Berlin: Springer 1958.
5. v. BOGUSLAWSKI, E. u. E. A. MITSCHERLICH: Verdunstungsmessung. — Ann. d. Hydrographie u. marit. Meteor. 1933, S. 192.
6. LINSER, H.: Versuche zur Verbesserung der Qualität von Getreide durch Düngung. — Qualitas Plantarum et Materiae Vegetabiles III/IV (1958) S. 529.
7. MAGISTAD, O. C.: A Comparisation of Mitscherlich Trials on Hawaiian Soils in Germany and in the Territory of Hawaii. — J. Amer. Soc. of Agron. **30** (1938) Nr. 8.
8. MITSCHERLICH, A.: Ein Verdunstungsmesser. — Die landwirtsch. Vers.-Stationen **60** (1904) S. 63—72.
9. MITSCHERLICH, E. A.: Klimatische Einflüsse auf die ertragssteigernde Wirkung der Pflanzennährstoffe. — Schr. d. Königsberger Gelehrten Ges. **15** (1939).
10. MITSCHERLICH, E. A.: Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner. 7. Aufl. — Berlin u. Hamburg: Paul Parey 1954.
11. MITSCHERLICH, E. A. u. W. BEHRENS: Zur Formulierung des Ertragsgesetzes. — Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkde. **A 15** (1929) S. 94—101
12. MITSCHERLICH, E. A., F. DÜHRING u. S. v. SAUCKEN: Das Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. — Landwirtschaft. Jb. **56** (1921) S. 71—92.
13. SCHATTNER, W.: Über den Einfluß der Farbe des Bodens auf das Ertragsvermögen unserer Kulturpflanzen. — Königsberg: Diss. v. 1923.
14. VAN DER PAAUW, F.: Water Relations of Oats with Special Attention to the Influence of Periods of Drought. — Plant and Soils **1** (1949) p. 303—341.