

Ueber den Einfluss der Einstrahlung auf den Boden und den Pflanzenenertrag.

Von ERNST POSEGA (Königsberg Pr.).

Der Pflanzenenertrag ist von verschiedenen Wachstums-Faktoren abhängig, die man in innere und äussere einteilt. Erstere sind mehr individueller Natur und durch den Habitus der Pflanze bedingt, letztere sind mehr beeinflussbar als erstere. Das Gebiet der inneren Wachstumsfaktoren ist das der Pflanzenzüchtung, das der äusseren ist das Gebiet des eigentlichen Pflanzenbaus. Die äusseren Wachstumsfaktoren haben physikalische und chemische Natur. Zu den physikalischen rechnet man u. a. die Wärme. Sie wird dem Boden in verschiedener Gestalt zugeführt. Einmal werden die die Erd-Oberfläche treffenden Lichtstrahlen in Wärme umgesetzt, dann nimmt der Boden aus der Atmosphäre direkt Wärmestrahlen auf und schliesslich findet ein Ausgleich zwischen wärmerer atmosphärischer Luft und dem kälteren Boden statt. Auch die Lebenstätigkeit der niederen Organismen bewirkt eine Erwärmung des Bodens. Die wirksamste Erwärmung geschieht jedoch durch die erwähnte Umsetzung des einstrahlenden Lichtes in Wärme, weswegen von den anderen Wärmequellen mehr abgesehen werden kann.

Dem Boden wird desto mehr Wärme-Energie zur Verfügung gestellt, je grösser die Wärmeabsorption und je geringer die Wärmeemission ist, wenn man von der Wärmekapazität und Wärmeleitung als Grössen dritter Ordnung absieht.

Die Wärme-Absorption wird je nach der physikalischen Beschaffenheit des Bodens gefördert oder gehemmt. So spielt die Farbe des Bodens eine wichtige Rolle. In der Praxis, besonders im Garten- und Weinbau, hat man aus der Erfahrung heraus, dass Böden mit dunkler Oberfläche im Durchschnitt einen höheren Wärmegrad besitzen und einen höheren Pflanzenenertrag liefern als heller gefärbte, den Schluss gezogen, dass die Farbe wesentlich die Wirkung der Einstrahlung beeinflusse. Dies bestätigen Beobachtungen von LAMPADIUS, CREUZE LATPUCHE, DE GASPARIN und DE SAUSURE (1), die aber mehr oder weniger angefochten werden können, da Differenzen in der substantiellen Beschaffenheit und im Wassergehalt des Bodens nicht ferngehalten wurden.

Die ersten exakten Versuche stellte SCHÜBLER (2) an: er benützte einen lufttrockenen Boden, überstreute einen Teil mit Kienruss und einen andern mit feiner Bittererde. Längere Zeit dem Sonnenlichte ausgesetzt, erwärmte sich der künstlich schwarz gefärbte Boden von 20° auf 40,7° R., während der künstlich weiss gefärbte von 20° nur auf 34,6° R. stieg (die Temperatur wurde nur an der Oberfläche gemessen). Ähnliche Resultate lieferten Versuche mit anderen Bodenarten.

Diesen Versuchen stehen die von DUROCHER und MALAGUTI gegenüber. Im Monat Juli zeigten sich mehrere Böden mittags bei einer Lufttemperatur von 32° in 3 cm Tiefe folgendermassen erwärmt:

Grauweisser Quarzsand	52,30°
Dunkelgraue Gartenerde	45,8°
Gelbe klayhaltige Erde	37,7°
Weissgrauer Klay	34,4°

Diese beiden sich widersprechenden Untersuchungen sind insofern nicht massgebend, als die Temperatur-Beobachtungen nur zu einer Tageszeit und nur in geringer Tiefe angestellt wurden. Denn man konnte aus ihnen weder die Schwankungen der Temperatur entnehmen noch ihr Verhalten in den eigentlichen Vegetationsschichten konstatieren, was für das Pflanzenleben sehr wichtig ist. WOLLNY (3) stellte die ersten streng wissenschaftlichen Versuche auf diesem Gebiete an. Er verwendete 6 in ihrem physikalischen Verhalten voneinander abweichende Bodenarten, die er in Zinkkästen einfüllte. Diese wurden gegen seitliche Wärmestrahlung isoliert. Die

Farbenkontraste wurden durch Aufstreuen von Frankfurter Schwarz bzw. gepulvertem Quarz hergestellt (mit Ausnahme der letzten Versuchsreihe). Es wurden 2-stündig Tag und Nacht die Temperaturmessungen vorgenommen. Die Resultate mögen folgen:

Versuchsreihe I. - Temperatur eines Tonbodens bei verschiedener (künstlich hergestellter) Farbe der Oberfläche in 10 cm Tiefe während der wärmeren Jahreszeit. Mittel sämtlicher Beobachtungen:

	Schwarze Oberfläche	Weisse Oberfläche	Differenz
Bodentemperatur	21,71°	20,05°	1,68°
Schwankungen	12,65°	9,75°	2,90°

Versuchsreihe II. - Temperatur verschiedener Bodenarten bei verschiedener Farbe der Oberfläche in 10 cm Tiefe während der wärmeren Jahreszeit. Mittel sämtlicher Beobachtungen:

	Sand		Ton		Torf	
Bodentemperatur	24,04°	22,25°	23,85°	22,70°	22,18°	21,13°
Differenz	1,79°		1,15°		1,05°	
Schwankungen	16,22°	13,41°	18,31°	13,70°	18,18°	11,42°
Differenz	2,81°		2,39°		0,76°	

Versuchsreihe III. - Temperatur eines Ackerbodens bei verschiedener Farbe der Oberfläche und 22 cm Tiefe während der wärmeren Jahreszeit. Mittel sämtlicher Beobachtungen.

	Schwarze Oberfläche	Weisse Oberfläche	Differenz
Bodentemperatur	23,09°	22,12°	0,97°
Schwankungen	2,88°	2,50°	0,38°

Versuchsreihe IV. - Temperatur des Ackerbodens bei verschiedener Farbe der Oberfläche und 22 cm Tiefe während der kälteren Jahreszeit. Mittel sämtlicher Beobachtungen:

	Schwarze Oberfläche	Weisse Oberfläche	Differenz
Bodentemperatur	8,01°	7,71°	0,30°
Schwankungen	0,90°	0,88°	0,02°

Versuchsreihe V. - Temperatur verschiedener Bodenarten bei verschiedener (natürlicher) Farbe ihrer Oberfläche in 5 und 10 cm Tiefe während der wärmeren Jahreszeit. Mittel sämtlicher Beobachtungen:

	Quarzsand		Kalksand	
	weiss	gelb	hellgrau	dunkelbraun
Bodentemperatur	24,18°	24,67°	24,55°	24,53°
Differenz	0,49°		0,03°	
Schwankungen	14,22°	14,14°	12,90°	12,98°

Aus den berichteten Resultaten zieht WOLLNY folgende Schlussfolgerung: "Die Farbe der Oberfläche hat auf die Erwärmung der Böden im trockenen Zustande einen wesentlichen Einfluss, wo das Verhalten der mineralischen Bestandteile ein annähernd gleiches und die Menge der organischen Substanzen (Humus) so gering ist, dass zwar die Farbe dadurch dunkler wird, aber die spezifische Wärme und die Wärmeleitung keine bedeutende Abänderung erfahren. Wird diese Grenze im Humus-Gehalt überschritten, oder treten in ihren sonstigen physikalischen Eigenschaften grössere Unterschiede auf, so kann der Einfluss der Farbe vermindert, auch wohl vollständig beseitigt werden".

C. LANG (1) beschränkte sich in der von ihm angestellten Versuchsreihe darauf, die Temperatur der obersten Schicht von 5 verschiedenen, lufttrockenen Bodenarten während der Insolation festzustellen. Er hatte das Beobachtungsmaterial in zylindrische Blechbüchsen geschüttet, die nach aussen hin blank poliert waren um eine Reflexion der seitlichen Wärmestrahlen zu veranlassen und um die von oben zugeführte strahlende Wärme nicht nach der Seite ausweichen zu lassen. Auf der Tischfläche, auf der die Büchsen sich befanden, wurden Pappdeckel ausgebreitet, die mit weissem Glanzpapier überzogen wurden. Aus den von LANG mitgeteilten Zahlen zog ich das Mittel. Am ersten Versuchstage verlief die Einstrahlung von 12,30 bis 5,30. Jede halbe bis Dreiviertelstunde wurde die Temperatur abgelesen. Die Ergebnisse sind durch folgende Zahlen gegeben:

	Luft	Kaolin geschwärzt	Kienruss	Torf	Quarz	Marmor	Kaolin
Bodentemp.	34,3°	40,5°	40°	35,6°	35,8°	35,1°	34°
Schwankung.	7°	4,5°	5,3°	4	2,8°	3,6°	3,6°

Am zweiten Versuchstage verlief die Einstrahlung von 9,30 Uhr bis 5,15 Uhr. Jede halbe Stunde wurde die Temperatur abgelesen:

	Luft	Kaolin geschwärzt	Kienruss	Torf	Quarz	Marmor	Kaolin
Bodentemp.	34,4°	38,4°	35,6°	35,7°	34°	33,6°	32,9°
Schwankung.	11,2°	16,7°	14,9°	13,9°	14,3°	14,5°	14,8°

Die dunkeln Bodenarten folgten am schnellsten der Insolation. Bei den verschiedenen hell gefärbten Böden erwies sich auch deutlich ein Temperatur-Unterschied.

Während WOLLNY in seinen vorher erwähnten Versuchen die Einwirkung der Farbkontraste schwarz und weiss untersuchte, legte er in einem andern Versuch darauf Wert, die Farbenabstufungen von schwarz bis weiss in seinen Betrachtungskreis zu ziehen. Als Beobachtungsmaterial diente Quarzsand, der an der Oberfläche verschieden gefärbt wurde. Es ergaben sich folgende Beobachtungs-Mittel:

	Oberfläche.			
	schwarz	dunkelgrau	mittelgrau	hellgrau
Bodentemperatur (28/29 Juni)	32,82°	32,39°	31,98°	30,94°
Schwankungen	34,55	32,90	32,45	30,10
	In 10 cm Tiefe:			
Bodentemperatur	28,33	28,46	27,83	27,20
Schwankungen	15,20	14,24	12,50	11,85

Auch hier zeigt es sich: der Boden ist umso wärmer, je dunkler seine Oberfläche gefärbt ist. Zur Zeit des Maximums der Bodentemperatur fallen die Unterschiede mehr ins Auge als zur Zeit des Minimums. Der dunkle Boden erwärmt sich zwar schneller, aber kühlt sich auch schneller ab. Demzufolge sind die Temperatur-Schwankungen in den dunklen Böden grösser.

Den Einfluss der Farbe auf das Produktionsvermögen unserer Kulturpflanzen suchte SCHATNER (4) zu bestimmen. Im Gegensatz zu den erwähnten Versuchsmethoden, bei denen die Oberfläche durch Überstreuen von geeigneten Materialien in d. Farbe differenziert wurde, bestimmte er die Einwirkung der Farbe von aussen. Er benützte zu diesem Zwecke Tongefässe, die mit Ölfarbe folgendermassen angestrichen wurden:

1. 20 Gefässe mit schwarzer Ölfarbe;
2. 20 Gefässe mit weisser Ölfarbe;
3. 20 Gefässe zur Hälfte mit schwarzer, zur Hälfte mit weisser Ölfarbe;
4. 20 Gefässe zu 1/4 mit weisser und zu 3/4 mit schwarzer Ölfarbe;
5. 20 Gefässe zu 3/4 mit weisser, zu 1/4 mit schwarzer Ölfarbe gestrichen,

und zwar bei nr. 3, 4, 5 in entsprechenden Abständen. Es wurden diese 100 Gefässe auf einem Versuchsfelde von 10 qm Grösse in einen Standraum von 1:1 m aufgestellt. In diesen zog SCHATNER mehrere in ihren Lebensbedürfnissen verschiedene Kulturpflanzen heran. Als Temperatur wurde das Mittel der mittägigen Ablesungen in Ansatz gebracht. Ertrag (y) wird in g Trockensubstanz angegeben:

	Farbe.				
	0	1/4	2/4	3/4	4/4
schwarz					
weiss	4/4	3/4	2/4	1/4	0
	<u>1. Zuckermoorhirse.</u>				
t° C.	18,3	18,8	19,7	20,7	21,5
y gefunden	82,5 (±1,4)	83,9 (±1,3)	87,9 (±1,4)	97,8 (±1,5)	105,4 (±1,4)
y berechnet	85,5	87,1	91,1	97,1	101,1
	<u>2. Buchweizen.</u>				
t° C.	17,7	18,2	19,1	20,2	21,4
y gefunden	41,9 (±0,3)	43,2 (±0,4)	45,4 (±0,6)	47,8 (±0,2)	50,3 (±0,1)
y berechnet	40,9	42,2	44,7	47,6	50,6
	<u>3. Gerste.</u>				
t° C.	20,0	21,3	21,9	22,7	23,4
y gefunden	29,2 (±2,5)	30,3 (±0,3)	33,9 (±1,3)	36,4 (±0,8)	37,7 (±2,0)
y berechnet	29,2	31,1	32,2	33,5	34,5

Die betreffenden Werte errechnen sich aus den Gleichungen:

1. für Zuckermoorhirse: $\log. (320-y) = \log. 320 - 0,01 \cdot (t - 5)$
2. für Buchweizen: $\log. (161-y) = \log. 161 - 0,01 \cdot (t - 5)$
3. für Gerste: $\log. (100-y) = \log. 100 - 0,01 \cdot (t - 5)$.

Aus allen mitgeteilten Beobachtungen kann man mit Sicherheit schliessen, dass die Wärmeabsorption des Bodens durch die Insolation in einem abhängigen Verhältnis zu der jeweiligen Farbe des Bodens steht.

Ein anderer Faktor, der bei der Erwärmung des Bodens mitwirkt, ist die *Exposition* und *Inklination* des Bodens. Je mehr die Sonnenstrahlen den Boden in einem rechten Winkel und in südlicher Richtung treffen, desto intensiver ist seine Erwärmung nach SCHUEBLER. So zeigen die Süd-Abhänge im Gegensatz zu den andern Himmelsrichtungen und ebener gelagerten Geländen eine bedeutende Temperatur-Erhöhung. Werden sie doch auch deshalb zum Anbau von Pflanzen benützt, die sonst nur in wärmeren Klimaten gedeihen. - Eine experimentelle Prüfung der Exposition wurde von KERNER (5) in Angriff genommen. Er benützte einen verschieden exponierten Sandhügel bei Innsbruck, der an den ziemlich steilen Böschungen mit Gras bewachsen war. Der Hügel war ferner kegelförmig und auf der Spitze abgeplattet. In die Böschung wurden in 80 cm Tiefe mit Wasser und Alkohol gefüllte Flaschen eingesenkt. Der Alkohol in den Flaschen verhinderte ein Einfrieren des Wassers bei eintretendem Frost. Die Temperatur der Flaschen und damit des Bodens wurde jeden 15. der Monate festgestellt. Im Durchschnitt berechnete sich die Bodentemperatur wie folgt:

	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW	Mittel
Mittel aus 3 Jahren	9,42	10,55	11,25	12,65	12,66	12,71	12,17	10,17	11,45
Abweichungen vom Mittel	-2,0	-0,9	-0,2	+1,2	+1,2	+1,3	+0,7	-1,3	
Mittl. jährl. Schwank.	13,5	14,5	17,1	17,2	16,5	13,9	15,5	13,5	15,2

Die wärmste Exposition war somit die Südwestseite. Ihr folgte die Südostseite. Die höhere Erwärmung der Südwestseite als der Südostseite beruht darauf, dass zwar die Südostseite dieselbe Wärmemenge erhält, aber nachmittags der Effekt der Einstrahlung erhöht wird, weil die Saturation der Luft nach Mittag niedriger ist. Von grosser Bedeutung ist bei KERNERS Versuchen die Feststellung, dass regelmässig eine Wanderung des Maximums der Bodentemperatur in den Monaten November bis April auf die Südwest-Seite, von Mai bis August auf die Südostseite, im September bis Oktober auf die Südseite u.s.w. stattfindet.

WOLLNY (3) stellt auch derartige Versuche an, um weitere Unterlagen für die Beurteilung der Vegetationsbewegungen für Kulturgewächse zu bekommen:

Versuchsreihe I. - Auf einem grösseren Versuchsfelde wurde ein an der Grundfläche 2,3 m grosser Erdkegel errichtet. Der Winkel, den sein Mantel und die Horizontal-Ebene bildete, betrug 15°. Es wurden 60 cm von der Spitze entfernt 8 Thermometer in gleichen Abständen voneinander in den Boden gesenkt. Die Ergebnisse stimmen mit denen KERNERS überein.

Versuchsreihe II. - Temperatur der Seitenflächen von Beeten bei verschiedener Lage gegen die Himmelsrichtung im Vergleich zur Temperatur einer ebenen Ackerfläche in 15 cm Tiefe während der wärmeren Jahreszeit. (von April bis Oktober).

Mittel sämtlicher Beobachtungen:

	Ebene	N	S	O	W
Bodentemperatur	14,08	13,54	14,40	13,95	13,90
Schwankungen	7,44	6,49	7,65	6,98	7,37

Versuchsreihe III. - Temperatur der Seitenflächen von Beeten bei verschiedener Lage gegen die Himmelsrichtungen im Vergleich zur Temperatur einer ebenen Ackerfläche in 15 cm Tiefe zu verschiedenen Tageszeiten. Mittel sämtlicher Beobachtungen:

	Ebene	N	S	O	W
Bodentemperatur	19,71	19,15	19,74	19,36	19,42
Schwankungen	4,92	4,47	4,99	4,66	4,97

Aus den Resultaten der beiden letzten Versuchsreihe zieht WOLLNY folgenden Schluss: "Auf einer in Beetkultur behandelten Fläche ist die Richtung der Beete von Nord nach Süd wegen gleichmässigerer Erwärmung des Ackerlandes für die Vegetation vorteilhafter als von Ost nach West. Im Vergleich zu einem in Beete angelegten Ackerland zeigt das eben bearbeitete sowohl eine gleichmässigerer wie eine durchschnittlich höhere Erwärmung. Mit Rücksicht auf den Einfluss der Bodenwärme bietet deshalb die Ebenen-Kultur grössere Vorteile als die Beetkultur".

Nach LORENZ (6) hängt von der Inklination des Terrains die Wirkung der Sonnenstrahlen in der Weise ab, dass bei sonnenseitigen Gehängen die Erwärmung bei Tage desto mehr zunimmt, je senkrechter die mittlere Richtung der Sonnenstrahlen die Gehängeflächen trifft. Weil aber die nächtliche Ausstrahlung bei solchen Flächen grösser sei als bei anderen, so seien die sonnenseitigen Gehänge in verschiedenen Grade excessiv. Da LORENZ keine wissenschaftlichen Beweise anführte, waren seine Bemerkungen von wenig Wert.

Die Lücke füllte WOLLNY (3) durch eine neue Versuchs-Anordnung aus. Es wurde der jährliche und später der tägliche Gang der Boden-Temperatur in 10 resp. 15 cm Tiefe beobachtet. Der Boden war zum Teil eben gelegen, zum Teil hatte er Neigungen von 16°, 32° und 48°. Aus seinem umfangreichen Zahlenmaterial schliesst WOLLNY folgendes: "Der Neigungswinkel, der bei südlichen Abdachungen das Maximum der Boden-Temperatur bedingt, ist während der Monate Februar bis April und August bis Oktober bei 48°, während der Monate Mai bis Juli bei 32° und zur Winterzeit bei 0° gelegen. Bei ausschliesslicher Berücksichtigung der Vegetationszeit ist d. Boden umso wärmer, je stärker das südlich exponierte Terrain geneigt ist".

BÜHLER stellte Beobachtungen mit verschiedenen Bodenflächen in dem Versuchsgarten Adlisberg bei Zürich an. Die Flächen besaßen eine Neigung von 0°, 10°, 20°, 30°, und 40° gegen die 4 Himmelsrichtungen. In den Südlagen zeigte der Boden die höchste, in den Nordlagen die niedrigste Temperatur. Die Ost- und Westlagen sowie die Ebenen erreichten eine mittlere Erwärmung. Durch die verschiedene Neigung entstanden durchschnittliche Temperatur-Differenzen von 1° bis 3° (an sonnigen Tagen von 7° bis 8°).

Wie weit die Inklination und Exposition zusammen den Pflanzenertrag erhöhte, suchte WOLLNY festzustellen. Aus seinen 4 Versuchen möchte ich die von 1899 herausgreifen: Sommer-Roggen, gedriht, in 16,6 cm Reihen-Entfernung.

Neigung der Fläche Exposition	15°				30°			
	O	S	W	N	O	S	W	N
Körner (g)	79,6	84,5	77	73,5	85,7	86,0	78,5	66,7
Stroh und Spreu	165	174	168	163	165	159	143	177

Aus dem Zahlenmaterial, ist deutlich ersichtlich, wie günstig die Inklination und Exposition wirkt. In WOLLNYs übrigen 3 Versuchen ist dies nicht durchweg so glücklich gelungen. So wanderte der Höchstertrag von der Südseite nach der Ost- oder Westseite, und das am wenigsten geneigte Erdreich lieferte die reichsten Ernten. Zwischen dem Gefundenen besteht kein Widerspruch. Der mit Zahlen belegte Versuch fand in einem feuchten Jahre, die anderen zum Teil in trockeneren Jahren statt. Bei letzteren flossen die wenigen vorhandenen Wassermengen von den steilen Abhängen auf ebenes Gelände ab. Es war daher eine richtige Beobachtung nur bei genügender Feuchtigkeit des Bodens möglich.

Weiterhin ist die Quantität der Wärme-Absorption durch die Grösse der Erdoberfläche bedingt. Mit der zunehmenden Grösse dieser nimmt proportional der Wassergehalt ab. Eine Fläche, d. einer ebenen Wasserfläche

gleich, weist die geringste Wärme-Absorption auf.

Hand in Hand mit der Wärme-Absorption des Bodens geht die Wärme-Emission vor sich. Sie findet dann immer statt, wenn die Bodentemperatur höher ist als die Lufttemperatur. Die Farbe und die Einstrahlungsfläche des Bodens bedingen die Wärme-Emission ähnlich wie die Wärme-Absorption.

Eine Abgabe von erheblichen Wärmemengen wird durch die **V e r d u n s t u n g** bewirkt. Sie ist sozusagen eine indirekte Einwirkung der Insolation. In der landwirtschaftlichen Praxis hat man die Erfahrung gemacht, dass ein Boden im nassen Zustand durchschnittlich kälter ist, als in feuchtem oder trockenem Zustande und dadurch die Vegetation der Kulturpflanzen in thermischer Beziehung beeinflusst wird. Wissenschaftlich suchte man sich diese Tatsache aus der grossen spezifischen Wärme des Wassers und den durch die Verdunstung eintretenden verschiedenen Wärmeverbrauch zu erklären. Auch auf diesem Gebiete stellte SCHÜBLER die ersten Versuche an: Lufttemperatur von 25°C.

Bodenarten.	bei nassem Boden	bei trockenem Boden
Bittererde, reinweiss	35,1	42,6
Kalkerde, weiss	35,6	43,0
Gips, heller, weissgrau	36,3	43,6
Lettenartiger Ton, gelblich	36,8	44,1
Ackererde, grau	36,5	44,3
Lehmartiger Ton, gelblich	37,3	44,5
Kalksand, weisslich grau	37,4	44,5
Klayartiger Ton, gelblich-braun	37,4	44,6
Quarzsand, hellgelblich grau	37,3	44,8
Feiner, bläulich-grauer Ton	37,5	45,0
Gartenerde, schwärzlich grau	37,5	45,3
Schiefriger Mergel, bräunlichrot	38,8	46,3
Humus, bräunlich-schwarz	39,8	47,4

Demnach würde der trockene Boden eine grössere Wärme besitzen. Ähnliche Resultate wiesen die Versuche von MADDEN und PARKES auf. TIETSCHERT, v. LITROW u. HABERLANDT fanden jedoch entgegengesetzte Erscheinungen. TIETSCHERT hatte Pflanzen angebaut, die auf durchlässigem Boden besser gediehen als auf mit Wasser vollständig gesättigtem. Die ersteren beschatteten deswegen den Boden mehr als die letzteren. Je grösser nun die Beschattung durch die Pflanzen ist (Verhinderung d. Einwirkung der Sonnenstrahlen), desto mehr sinkt die Bodentemperatur. Hieraus erklären sich die SCHÜBLER u. a. entgegengesetzten Ergebnisse.

Auf ähnlich im Prinzip falsch angestellten Versuchen basierten die Schlussfolgerungen von LITROW und HABERLANDT.

Zur Prüfung des Einflusses des Wassers auf die Bodentemperatur stellte WOLLNY 6 EBERMAYERsche Evaporationsapparate auf. Je 2 wurden mit denselben Gewichtsmengen Lehm, bzw. Quarzsand und Torf gefüllt und gegen Wärmeleitung isoliert. Von den je zwei gleich beschaffenen Böden wurde der eine nass und der andere trocken gehalten. Die Temperatur-Differenzen (in 10 cm Tiefe und an der Oberfläche) des nassen und trockenen Bodens betragen im Mittel zu Ungunsten des nassen Bodens:

	Lehm	Torf	Sand
1. Versuchsreihe	0,64°	0,16°	0,74°
2. Versuchsreihe	1,68	0,50	2,20
Durchschnitt	1,26	0,33	1,47

Aus den angeführten Zahlen ergab sich für WOLLNY folgendes: "Während der wärmeren Jahreszeit ist der Boden im nassen Zustand im Durchschnitt kälter als im trockenen und feuchten Zustande. Zur Zeit des täglichen Maximums der Bodentemperatur ist der Unterschied zwischen dem nassen und trockenen Boden am grössten. Zur Zeit des täglichen Temperatur-Minimums ist meistens der nasse Boden wärmer als der trockene. Die Temperatur-Schwankungen sind im nassen Zustand bedeutend geringer als im trockenen und feuchten".

LANG setzte Kaolin, Marmor und Quarz der Insolation aus. Sie dauerte von 9,30 - 4,30 Uhr. Jede halbe Stunde fand eine Ablesung statt. Aus den mitgeteilten Temperaturen zog ich das Mittel:

Luft	Kaolin		Marmor		Quarz	
	trocken	nass	trocken	nass	trocken	nass
38,5	36,9	33,3	38,1	33,6	36,4	30,0

"Die Oberfläche durchnässter Materialien erwärmt sich wegen der auftretenden Verdunstungskälte viel weniger als die Oberfläche der gleichen Stoffe im trockenen Zustande".

Aus WOLLNYs zahlreichen weiteren Versuchen möge der mit verschiedenem Wassergehalt des Bodens angestellte nicht unerwähnt bleiben. Die Temperatur von Quarzsand wurde zweistündig in 10 cm Tiefe gemessen:

	Wassergehalt in % der Wasserkapazität					
	100	80	60	40	20	0
Bodentemperatur 29.VII-3.VIII.79	22,44	23,39	23,82	24,04	24,12	24,22
Schwankungen	16,85	20,36	21,62	22,73	22,12	18,68

Mit sinkendem Wassergehalt wird der Boden wärmer, auch wenn der nasse Boden eine dunklere Färbung aufweist als der feuchte und trockene. Diese Erscheinung beruht auf der durch die Verdunstung herbeigeführten Abkühlung und der relativ geringen Wärmeleitung des Wassers. Die Verdunstung ist je nach der durch die Insolation herbeigeführten relativen Luftfeuchtigkeit verschieden, wenn man von d. Windgeschwindigkeit und spezifischen Eigenschaften des Bodens, wie Grösse und Wassergehalt der Boden-Oberfläche und der Wasserleitung im Boden absieht. Bei geringer Einstrahlung und hoher relativer Luftfeuchtigkeit weist der Boden die geringsten Temperatur-Differenzen auf. Bei eintretendem Frostwetter, wie dies auch von WOLLNY nachgewiesen ist, kehren sich die Verhältnisse um. Der Boden wird desto kälter, je trockener er ist.

Wie weit die Abkühlung des Bodens einen Einfluss auf den Pflanzen-Ertrag hat und wie weit das Wasser als solches und die Farbe den Pflanzenertrag erhöht, werden die Ergebnisse meiner Versuche zeigen.

Um die unmittelbare Einwirkung der Sonnenstrahlen auf den Boden zu verhindern und die Verdunstung aufzuhalten, schafft man eine Isolations-Schicht zwischen dem Boden und den Sonnenstrahlen. Auf Moorböden pflegt man eine Sandschicht aufzubringen, andere Böden isoliert man durch Lockerung der obersten Schicht (Eggen, Behacken). Auch das Ausbreiten und längere Liegerlassen von Dung auf dem Acker erhält dem Boden in trockenen Jahren die Feuchtigkeit.

EIGENE BEOBACHTUNGEN.

BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANSTELLUNG.

Der Zweck meiner Untersuchungen war, den Einfluss der Insolation einmal auf den Boden und zweitens auf den Pflanzen-Ertrag festzustellen. Ich benützte zu den Versuchen mit Humus angereicherten Sandboden, der in 100 Tongefässe mit eingelegten Sieb-Röden gefüllt wurde. Die Gefässe waren folgendermassen von aussen mit Ölfarbe angestrichen (vergl. SCHATNER, 4).

I. Abteilung	20 Gefässe	mit	0	schwarzer	und	1	weisser	Ölfarbe
II. "	"	"	1/4	"	"	3/4	"	"
III. "	"	"	1/2	"	"	1/2	"	"
IV. "	"	"	3/4	"	"	1/4	"	"
			1			0		"

Dieser Anstrich der Gefässe hat gegenüber anderen Methoden in der Farbdifferenzierung des Bodens den Vorteil, dass er sich nicht in physikalischer wie chemischer Beziehung verändern kann. Ausserdem erhielten die Gefässe verschiedene Wassermengen und zwar jede Abteilung 5 Abstufungen von der Wassermenge ab, die gerade zum Leben der Pflanzen genügte, bis zur vollen Wasser-Kapazität des Bodens (viermalige Wiederholung). Um die Gefässe vor Regenfällen zu schützen, wurden sie in einem Gewächshaus aufgestellt. Hier wurde jeden Abend die durch den Verbrauch der Pflanzen bzw. durch die Verdunstung erfolgte Verminderung des festgesetzten Wassergehaltes durch Begiessen ausgeglichen, wobei ich eine Tisch-Dezimalwaage benützte. Zur Messung der Bodentemperatur beschaffte ich mir 25 Thermometer, die ich vorher auf ihre Genauigkeit geprüft hatte, und die in die Mitte der Oberfläche jeden Gefässes eingesteckt wurden. Während der ganzen Untersuchungen behielt ich die Tiefe von 10 cm für die Thermometer bei. - Zum Vergleich mit der Boden-Temperatur zog ich die der Luft mittels eines Maximum- und Minimum-Thermometers heran. Die Temperaturen wurden täglich abgelesen um 7 Uhr Vm., 1 Uhr Nm., 7 Uhr Nm. In den letzten Wochen meiner Tätigkeit fanden die Temperatur-Ablesungen wegen der zunehmenden Dunkelheit statt um: 8 h Vm., 1 h Nm., 6 h Nm.

Um die Wirkung der erwähnten Versuchs-Anstellung auf den Pflanzenertrag zu konstatieren, zog ich in den Gefässen zunächst Hafer heran. Dieser musste jedoch nach 3 Monaten geerntet werden. Darauf benützte ich Senf, der sehr gut in den Gefässen gedieh. - Die Witterungs-Verhältnisse lagen sehr ungünstig. Dauernde Regengüsse während der Haupt-Vegetationszeit setzten die Summe der Wärmegrade gegenüber den Vorjahren herab.

DIE VEGETATIONSBEOBSACHTUNGEN.

1. Der Hafer.

In jedem Gefäss befanden sich 9,7 kg absolut trockener Boden. Der Hafer wurde am 25. Mai auf 50 Körner pro Gefäss gesät und auf 35 Körner verzogen. Er ging gleichmässig auf und entwickelte sich anfangs sehr gut. Zu Beginn erhielt er täglich Wasser und später schwache Nährlösung (1 L der Stammlösung von: Wasser 10 L, Kalisulfat 476,4, Chilisalpeter 739,5 und Superphosphat 580 g, wurde in 144 L Wasser verteilt = 1,2% starke Nährlösung).

Auf folgenden Mengen Wasser in Zehnteln der vollen Wasser-Kapazität wurde der Hafer konstant gehalten: 2,7, 3,8, 5,2, 7,2, 10 Zehntel.

Ein Heruntergehen unter den niedrigsten Wassergehalt erwies sich als unangebracht, da die Pflanzen dann anfangen zu welken. Ungefähr am 8. Juli trat auf d. Blättern einzelner Haferpflanzen nach der Rispenbildung die Streifenkrankheit auf. Obgleich sofort mit Kupfervitriol und Parasitol die Bekämpfung versucht wurde, griff die Erkrankung weiter um sich und befiel ausser einigen Gefässen mit voller Wasser-Kapazität fast alle mit nächst niedrigerem Wassergehalt. Um noch brauchbare Resultate aus meinen Versuchen zu erhalten, erntete ich den Hafer sofort am 19. Juli.

Ernteresultate.

Wassergabe in 1/10 d. vollen Wasserkapazität	2,7	3,8	5,2	7,2	10
Gefässfarbe	g	g	g	g	g
I. Abteilung	8,0 (16,0)§ 7,5 13,0	18,2 19,5 16,6 16,0	26,5 25,5 26,0 25,0	(17,2)§ (16,8)§ (20,0)§ (21,0)§	23,2 27,5 32,5 (34,0)§

§ = nicht verwendet, da teils Streifenkrankheit, teils Verregnung.

Wassergabe in 1/10 d. vollen Wasserkapazität.	2,7	3,8	5,2	7,2	10
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	9,5 ±1,4	17,57 ±0,62	25,75 ±0,24		27,71 ±1,9
II. Abteilung	6,5 12,7 9,5 9,5	14,0 20,5 13,0 18,7	24,6 25,5 24,1 24,0	(15,0)§ (13,4)§ (15,5)§ (12,8)§	28,7 (17,3)§ 31,0 23,4
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	9,55 ±0,77	16,55 ±1,49	24,55 ±0,25		27,7 ±1,72
III. Abteilung	6,7 8,2 4,0 11,0	19,5 18,3 18,5 18,0	23,0 26,0 18,0 20,8	26,2 (16,3)§ (14,5)§ (11,0)§	26,0 (21,0)§ (47,4)§ 24,0
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	7,47 ±1,03	18,57 ±0,22	21,95 ±1,25	26,2	25,0 ±0,85
IV. Abteilung	6,8 8,4 4,0 9,0	18,3 15,0 15,7 17,5	22,5 24,2 24,3 18,0	28,5 (20,0)§ (16,7)§ (13,0)§	30,2 (44,5)§ 27,7 28,0
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	7,05 ±0,81	16,62 ±0,62	22,25 ±1,04	28,5	28,63 ±0,63
V. Abteilung.	6,0 12,5 9,0 7,5	23,0 17,0 13,0 14,0	22,0 23,5 20,5 21,0	(17,5)§ (24,5)§ (17,0)§ 29,0	32,5 37,0 28,5 30,3
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	8,75 ±0,81	16,75 ±1,59	21,75 ±0,48	29,0	32,08 ±1,3

Die mit § bezeichneten Resultate konnten nicht verwendet werden, weil sie teils unter der Streifenkrankheit gelitten hatten und teils eingeregnet waren.

Die Bodentemperatur bei Hafer im Vergleich zur Lufttemperatur.

x = Zehntel d. vollen Wasserkapazität	2,7	3,8	5,2	7,2	10	
z =	Mittel der Tagestemperaturen					Mittel der Lufttemperatur.
0 schwarz = 0	23,2	22,7	21,9	22,1	21,1	25,4
1/4 " = 2,5	23,5	23,0	22,0	22,2	21,4	
1/2 " = 5,0	23,8	23,1	22,9	22,4	21,8	
3/4 " = 7,5	24,4	23,4	23,2	22,6	22,0	
1 " = 10,0	24,8	23,8	23,3	22,9	22,5	

Die Hafer-Erträge als Funktion des Wassergehaltes und der Farbe des Bodens. $y = f(x, z)$.

x =	2,7	3,8	5,2	7,2	10 Zehntel	
z =	y gefunden					
0 schwarz.	9,5 ± 1,4	17,57 ± 0,62	25,75 ± 0,24			27,71 ± 1,9
1/4 " = 2,5	9,55 ± 0,77	16,55 ± 1,49	24,55 ± 0,25			27,7 ± 1,72
1/2 " = 5,0	7,47 ± 1,03	18,57 ± 0,22	21,95 ± 1,25	26,2		25,0 ± 0,85
3/4 " = 7,5	7,05 ± 0,91	16,62 ± 0,62	22,25 ± 1,04	28,5		28,63 ± 0,63
1 " = 10,0	8,75 ± 0,81	16,75 ± 1,59	21,75 ± 0,48	29,0		32,08 ± 1,3
x = 2	2,7	3,8	5,2	7,2	10	∞
z =	y berechnet					
0 schwarz = 0	8,36	16,59	22,04	25,28	26,61	27,0
1/4 " = 2,5	8,75	17,36	23,06	26,45	27,84	28,25
1/2 " = 5,0	8,98	17,82	23,67	27,15	28,58	29,0
3/4 " = 7,5	9,17	18,19	24,16	27,71	29,17	29,6
1 " = 10,0	9,30	18,44	24,49	28,09	29,57	30,0
∞	9,40	18,50	24,74	28,25	29,70	30,2

Die Berechnungen erfolgten nach den Gleichungen gemäss dem Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren, die lauten:

$y = A (1 - 10^{-0,230(x-2)}) (1 - 10^{-1(z+1)})$, oder für den Wassergehalt des Bodens allein:

$\log(A - y) = \log A - 0,230(x - 2)$, oder für die Farbe des Bodens allein:
 $\log(A - y) = \log A - 0,1(z + 10)$.

2. Der Senf.

In jedem Gefässe befanden sich 10,85 kg absolut trockener Boden. Der Senf wurde am 31. Juli auf 50 Körner gesät und zunächst auf 35 Körner, und dann später auf 25 Körner verzogen. Er ging gut auf, wuchs aber nicht so sehr hoch, weil sich die Herbsttemperatur schon langsam geltend machte. Täglich wurde er mit Wasser gegossen, und zwar in 5 Abstufungen des Wassergehaltes in Zehnteln der vollen Wasser-Kapazität: 1,8, 2,5, 4,3, 7,0, 10.

Während des Blühens hatte der Senf etwas unter Raupen zu leiden, die aber sofort abgesammelt wurden. Am 22. Oktober erfolgte die Ernte.

Ernteresultate.

Wassergabe in Zehnteln der vollen Wasserkapazität.	1,8	2,5	4,3	7,0	10,0
Gefässfarbe	g	g	g	g	g
I. Abteilung	15,0	18,0	15,6	20,0	18,7
- §		15,6	21,0	21,0	18,9
	14,5	14,0	- §	19,5	20,0
	13,0	18,0	21,6	21,6	23,0

§ Resultat wegen Streifenkrankheit nicht verwendbar.

Wassergabe in Zehnteln der vollen Wasserkapazität	1,8	2,5	4,3	7,0	10,0
Gefäßfarbe	g	g	g	g	g
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	14,17 ±0,47	16,4 ±0,78	19,4 ±1,51	20,52 ±0,38	20,15 ±0,70
II. Abteilung.	13,5 - § 14,0 12,0	15,0 17,0 15,8 19,5	17,0 21,2 21,0 22,3	19,0 23,0 - § 23,4	20,1 19,0 21,0 19,8
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	13,17 ±0,47	16,82 ±0,70	20,37 ±0,84	21,8 ±1,11	19,97 ±0,28
III. Abteilung.	14,0 12,3 15,2 13,0	18,0 12,8 16,5 17,0	19,0 18,3 - § 22,0	23,0 21,0 21,0 19,2	20,4 19,8 20,5 18,9
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	13,62 ±0,48	16,07 ±0,80	19,67 ±0,89	21,05 ±0,48	19,9 ±0,27
IV. Abteilung.	15,0 13,0 14,0 16,5	15,9 13,9 15,0 17,0	19,8 21,0 - § 22,9	23,0 21,0 21,0 - §	20,5 20,3 20,0 20,0
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	14,62 ±0,55	15,45 ±0,49	21,23 ±0,66	21,66 ±0,53	20,2 ±0,98
V. Abteilung.	14,3 13,0 14,0 13,0	16,0 16,0 17,9 16,5	20,0 23,0 16,9 23,2	21,0 23,0 21,0 21,6	24,0 22,0 23,0 24,0
im Mittel wahrscheinlicher Fehler	13,57 ±0,25	16,6 ±0,32	20,77 ±1,14	21,65 ±0,33	23,25 ±0,37

Die mit § bezeichneten Resultate konnten nicht verwendet werden, weil sie eingeregnet waren.

Die Bodentemperatur bei Senf im Vergleich zur Lufttemperatur.

x = Zehntel d. vollen Wasserkapazität	2,7	3,8	5,2	7,2	10	
z =	Mittel der Tagestemperaturen.					Mittel der Lufttemperatur
0 schwarz = 0	18,29 ±0,05	17,80 ±0,03	17,44 ±0,03	17,94 ±0,02	17,33 ±0,04	
1/4 * = 2,5	18,78 ±0,03	18,29 ±0,02	18,53 ±0,05	18,28 ±0,003	17,70 ±0,03	19,8

x = Zehntel d. vollen Wasserkapazität	2,7	3,8	5,2	7,2	10	
7 =	Mittel der Tagestemperaturen.				Mittel der Lufttemperatur	
1/2 schwarz	19,19 ±0,03	18,66 ±0,02	18,68 ±0,02	18,51 ±0,02	17,74 ±0,03	19,8
3/4 "	19,46 ±0,03	19,04 ±0,02	18,67 ±0,03	18,85 ±0,02	17,70 ±0,02	
1 "	19,97 ±0,03	19,57 ±0,02	19,16 ±0,04	19,03 ±0,02	18,10 ±0,03	

Die Senf-Erträge als Funktion des Wassergehaltes und der Farbe des Bodens. $y = f(x, z)$.

x =	1,8	2,5	4,3	7,0	10 Zehntel
z =	y gefunden				
0 schwarz = 0	14,17 ± 0,47	16,4 ± 0,78	19,4 ± 1,51	20,5	20,15 ± 0,70
1/4 " 2,5	13,17 ± 0,47	16,82 ± 0,70	20,37 ± 0,84	21,8	19,97 ± 0,28
1/2 " 5,0	13,62 ± 0,48	16,07 ± 0,80	19,76 ± 0,89	21,05	19,9 ± 0,27
3/4 " 7,5	14,62 ± 0,55	15,45 ± 0,49	21,23 ± 0,66	21,66	20,22 ± 0,98
1 " 10,0	13,57 ± 0,25	16,6 ± 0,32	20,77 ± 1,14	21,65	23,25 ± 0,37
x =	y berechnet				
0 schwarz = 0	12,90	15,41	18,85	20,48	20,89
1/4 " 2,5	13,67	16,33	19,97	21,70	22,14
1/2 " 5,0	13,98	16,70	20,42	22,19	22,64
3/4 " 7,5	14,20	16,95	20,70	22,53	22,98
1 " 10,0	14,29	17,06	20,87	22,68	23,18

Die Berechnungen erfolgten nach den Gleichungen gemäss dem Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren, die lauten:

$$y = A (1 - 10^{-0,230 X}) \cdot (1 - 10^{-0,1 (z + 10)}),$$

oder für den Wassergehalt des Bodens allein: $\log(A - Y) = \log A - 0,230 x$,

oder für die Farbe des Bodens allein: $\log(A - y) = \log A - 0,1 (z + 10)$.

AUSWERTUNG DER VERSUCHE.

Aus meinen Versuchen konnte ich ersehen:

1. Die Temperatur- und Ertragsunterschiede zwischen den Böden in schwarzen und weissen Gefässen mit den Übergängen halb weiss, halb schwarz u.s.f., bei gleichem Wassergehalt waren nur sehr gering. Dies mag auf die erwähnten schlechten Witterungsverhältnisse zurückzuführen sein. Die Tabellen geben jedoch ein Bild von dem allmählichen Ansteigen der durchschnittlichen Tagestemperaturen und der Pflanzenerträge zugunsten der Böden in halb schwarzen und schwarzen Gefässen (samt den Übergängen). Der Wirkungsfaktor der Farbe, wenn wir diese von 0 (= weiss) bis 1 (= schwarz) variieren, betrug dabei in jedem Falle 0,1.

2. Die Temperatur-Unterschiede zwischen Böden mit verschiedenem Wassergehalt (aber bei gleicher Farbe) waren sehr gering. Die durchschnittlichen Tages-Temperaturen nahmen von den Böden mit geringstem Wassergehalt bis zu denen mit voller

Wasserkapazität ständig etwas ab. Die Ertrags-Unterschiede zwischen Böden mit verschiedenem Wassergehalt (aber bei gleicher Farbe) waren sehr gross. Mit der stufenweisen Erhöhung der Wassergabe erhöhten sich die Pflanzen-Erträge bedeutend. Der Wirkungsfaktor betrug dabei in jedem Falle 0,23.

3. Einem dunkeln Boden ist somit gegenüber einem hellen der Vorzug zu geben. Die Wirkung der dunklen Farbe eines trockenen Bodens bleibt hinter der Wirkung eines mit Wasser gesättigten Bodens zurück. Die grössten Erträge erzielt man bei dunkler Farbe und voller Wasser-Kapazität des Bodens, wenn die andern erforderlichen Wachstums-Faktoren in genügendem Masse vorhanden sind.

Ich benütze die Gelegenheit, Herrn Professor Dr. MITSCHERLICH für die Ueberlassung des Themas und die Anleitung zu seiner Bearbeitung meinen ergebensten Dank auszusprechen.

LITERATUR.

(1) MITSCHERLICH, Bodenkunde, 4. Aufl., 1923. - (2) SCHÜBLER, Grundsätze der Agrikulturchemie II, 1834. - (3) WOLLNY, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik Band I, IV, IX, XIX, XX. - (4) SCHATTNER, Über den Einfluss der Farbe auf das Produktionsvermögen unserer Kulturpflanzen. Diss. 1923. - (5) KERNER, Über Wanderungen des Maximums der Bodentemperatur, in Zeitschr. d. Österr. Gesellsch. f. Meteorologie VI, 1871. - (6) LORENZ, Handbuch der Klimatologie, Wien 1874.

Differenzdüngungen mit schwefelsaurem Ammoniak bei Cruciferen, Cerealien und Leguminosen mit besonderer Berücksichtigung der im Boden vor- handenen Stickstoffmenge.

Von PAUL STOEPPEL (Königsberg Pr.).

I. EINFÜHRUNG.

Schon in frühesten Zeiten war es bekannt, dass Angehörige verschiedener Pflanzenfamilien, unsere heutigen Leguminosen oder Hülsenfrüchte, die Fähigkeit haben, auch auf nährstoffarmen Böden zu wachsen, ja diese unter Nährstoff-Anreicherung zu verlassen. Diese Kenntnis hatte nach SAUSSURE (1) schon PLINIUS und die in damaliger Zeit auf höchster Kulturstufe stehenden Ägypter, die sie den Griechen u. diese dann wieder den Römern übermittelten.

Auch in Deutschland war diese "bodenverbessernde" Wirkung der Leguminosen schon frühzeitig bekannt, und der Anbau dieser Pflanzen ist deshalb von jeher geübt worden. So unterschied man in der praktischen Landwirtschaft ganz mit Recht bodenbereichernde Pflanzen, Leguminosen, und bodenverarmende Pflanzen, Getreidearten etc.

Bei der Erforschung der Grundlage dieser praktischen Beobachtung gelangte man erst dann zu einem Resultat, als der verdienstvolle Forscher und Landwirt SCHULTZ-Lupitz (2) die Frage untersuchte. Seine Behauptung, dass trotz allen Zweifeln und negativen Versuchs-Resultaten die Leguminosen doch in der Lage sein müssten, den Stickstoff der Luft auszunützen, hielt er gegen alle Anfeindungen und Kritiken aufrecht und belegte sie mit den Ergebnissen seiner Wirtschaft, de-

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: 1925

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Posega Ernst

Artikel/Article: [Ueber den Einfluss der Einstrahlung auf den Boden und den Pflanzenertrag 112-124](#)