

Zusammenhang zwischen der Azidität des Bodens und der Zersetzung der organischen Substanzen im Boden.

Von Dr. David J. Hissink,

Am Schlusse seines neuen Handbuches der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens (1) weist Professor Dr. Julius Stoklasa darauf hin, wie ungemein wichtig es ist, sich die Statik des Kohlenstoffes im Boden stets vor Augen zu halten. Durch die Atmung der Bakterien nimmt der Gehalt an Kohlenstoff im Boden fortwährend ab. Stoklasa (2) berechnet, daß der Kohlenstoffvorrat eines fruchtbaren Bodens mit 2% Kohlenstoff bis zu einer Schicht von 30 cm, wenn kein Ersatz von Kohlenstoff stattfindet, in ungefähr 20 Jahren erschöpft wird. Der Kohlenstoffgehalt der Stoppel- und Wurzelrückstände unserer Zerealien ist nicht ausreichend, dieses Defizit zu decken. Da die organischen Substanzen im Boden bei Gegenwart von Stickstoff, Phosphor, Kalium, Kalzium und Eisen viel energischer abgebaut werden, behauptet Stoklasa die Notwendigkeit, die organischen Substanzen immer neben den mineralischen Düngemitteln zuzuführen.

Tabelle I (nach Stoklasa).

Azidität = pH	Durchschnittliche Menge des von 1 kg Boden in 24 Stunden ausgeatmeten Kohlendioxyds (in mg)	Anzahl der vegetativen Keime der Bakterien in 1 g Boden (Millionen)
7.2	85	78
6.9	90	76
6.6	66	52
5.8	48	20
5.3	22	16
4.7	9	8
4.0	5	6

Aus den zahlreichen Untersuchungen von Stoklasa und seinen Mitarbeitern geht weiter hervor, daß die Menge des ausgeatmeten Kohlendioxydes bei verschiedenen Böden sehr verschieden sein kann, und auf Grund der Resultate seiner langjährigen Beobachtungen und Analysen auf Ackerböden von Böhmen und Mähren kommt er zu der wichtigen Schlußfolgerung, daß die Menge des ausgeatmeten Kohlendioxyds ein Indikator für die Fruchtbarkeit des Bodens ist (3).

In dem Handbuche von Stoklasa und Doerell werden die verschiedenen Faktoren, welche die Größe der Kohlendioxydproduktion des Bodens beeinflussen,

eingehend behandelt. Uns interessiert hier die Bemerkung (4), daß bei allen Versuchen die Wasserstoffionenkonzentration des Bodens im Auge behalten werden muß. Die nachstehenden Daten dokumentieren deutlich, wie sowohl die Anzahl der vegetativen Keime der Bakterien im Boden, als auch die Menge des vom Boden ausgeatmeten Kohlendioxyds von der aktiven Azidität des Bodens beeinflußt wird. Die Versuche wurden von Stoklasa mit 20% Wasser bei 20° Celsius 24 Tage hindurch ausgeführt (5).

Auf Grund dieser Resultate ist zu erwarten, daß die Zersetzung der organischen Substanz im Boden von der Azidität (pH) des Bodens beeinflußt wird und zwar in der Weise, daß die zersetzte Menge organischer Substanz, unter sonstigen gleichen Umständen, mit der Steigung des pH-Wertes zunimmt, der Gehalt an Humus also sinkt. Es schien mir wichtig, diese Frage an einigen Versuchen aus der Praxis näher zu studieren.

Versuchsfeld Sappemeer (Provinz Groningen).

Im Jahre 1913 wurde vom Landwirtschaftslehrer Ir. J. Heemstra, Groningen, ein kleines Versuchsfeld in Größe von 4 Ar angelegt. Der Boden ist alter „Dalboden“ (6). Die Krume war im Mittel ungefähr 30 cm dick und bestand aus Sand mit ungefähr 23% Humus (Glühverlust). Der Untergrund besteht aus Sand. Das Feld wurde in 4 Parzellen A, B, C und D, in Größe von je 1 Ar geteilt. Parzelle A wurde jährlich mit Stallmist, Parzelle C jährlich mit mineralischen Düngemitteln gedüngt. Parzelle B empfing die halbe Stallmistdüngung von A und die halbe mineralische Düngung von C. Parzelle D erhielt im Jahre 1913 eine Düngung mit „Terpaarde“ (Tonboden mit CaCO_3) und wurde weiter wie Parzelle B gedüngt. Ursprünglich wurde eine sogenannte „saure“ Düngung gegeben (6 kg Ammoniumsulfat, 8 kg Superphosphat und 10 kg Patentkali pro Ar). Als sich in den Jahren 1918/1919 die schlechte Wirkung dieser andauernden „sauren“ Düngung, insbesondere auf Parzelle C zeigte, wurde jede Parzelle in vier kleine Teile 1, 2, 3 und 4 geteilt. Im Herbst 1919 bekamen die 8 kleinen Parzellen 1 und 3 pro ha 5000 kg Mergel. Nehmen wir an, daß diese Menge ungefähr 2400 kg CaO enthalten hat und daß diese Menge CaO von den 600 000 kg Humus pro ha gebunden worden ist, so ist der Kalkgehalt des Humus um 0,4% gestiegen, was eine Steigerung von ungefähr 0,6—0,3 des pH-Wertes zur Folge gehabt haben wird. Die 6 kleinen Parzellen B 1/3, C 1/3 und D 1/3 wurden, vom Herbst 1919 an, weiter sogenannt „alkalisch“ gedüngt (Chilisalpeter, Thomasmehl und Patentkali); die 6 Parzellen B 2/4, C 2/4 und D 2/4 empfangen die schon erwähnte „saure“ Düngung. Die vier Felder A 1, 2, 3 und 4 empfangen, wie früher, nur Stallmist.

Im Herbst 1923 wurden von jeder der 16 Parzellen Proben zur Untersuchung entnommen, während auch das Volumgewicht auf dem freien Felde, sowie die Tiefe der Krume bestimmt wurde. Die Tabelle II enthält: Tiefe der Krume bis zu der Sandschicht in cm; Volumgewicht (Gewicht von 1 Liter trockenen Bodens [105° C] in kg); Gehalt an organischer Substanz (Glühverlust) in Prozenten auf Trockensubstanz (105° C); pH-Wert. Weiter wurde der Gehalt an austauschfähigem Kalk, an Stickstoff und Phosphorsäure bestimmt. Mit Hilfe dieser Zahlen und des Humusgehaltes ist der Prozentgehalt des Humus an CaO , N und P_2O_5

berechnet. Diese Zahlen sind als CaO (Humus)-, N(Humus)- und P₂O₅(Humus)-Zahl in die Tabelle II eingetragen. Aus den Resultaten der Parzellen 1 und 3, und ebenso der Parzellen 2 und 4 ist der Mittelwert berechnet.

Tabelle II.
Resultate. Versuchsfeld Sappemeer, Herbst 1923.

Parzelle A Stallmist		Parzelle B halb Stallmist halb min. Düngung		Parzelle C miner. Düngung		Parzelle D wie B + Terpaarde	
1-3 einmal CaCO ₃	2-4	1-3 alkalisch	2-4 sauer	1-3 alkalisch	2-4 sauer	1-3 alkalisch	2-4 sauer
Tiefe der Krume bis auf die Sandschicht in cm.							
32,3	33,0	28,5	29,0	26,8	27,0	31,0	31,8
Volumgewicht in natürlicher Lagerung (Gewicht 1 Liter Trockensubstanz in kg).							
0,813	0,823	0,901	?	0,914	0,916	0,917	0,912
Gehalt an organischer Substanz in Prozenten auf Trockensubstanz (105° C).							
23,4	23,8	21,0	22,4	19,9	23,9	18,5	21,7
Azidität (pH) des Bodens (10 g Boden mit 25 cc H ₂ O).							
5,2	5,1	5,1	4,6	4,9	4,3	5,8	5,1
CaO (Humus)-Zahl, d. h. g CaO in 100 g Humus.							
2,60	2,40	2,46	1,90	2,20	1,58	3,22	2,90
N (Humus)-Zahl, d. h. g N in 100 g Humus.							
2,56	2,61	2,68	2,58	2,45	2,46	2,59	2,59
P ₂ O ₅ (Humus)-Zahl, d. h. g. P ₂ O ₅ in 100 g Humus.							
1,19	1,25	1,24	1,24	1,26	1,18	1,62	1,60

In erster Linie sei nun die Aufmerksamkeit auf den Zusammenhang zwischen dem pH-Werte und der CaO(Humus)-Zahl gelenkt, was noch deutlicher aus Tabelle III hervorgeht.

Tabelle III.
Zusammenhang zwischen pH und CaO(Humus)-Zahl:

Parzelle	pH	CaO(Humus)- Zahl
C 2/4	4,3	1,58
B 2/4	4,6	1,90
C 1/3	4,9	2,20
A 2/4	5,1	2,40
B 2/4	5,1	2,46
D 2/4	5,1	2,90
A 1/3	5,2	2,60
D 1/3	5,8	3,22

Die CaO(Humus)-Zahlen der Parzellen D 2/4 und D 1/3 sind etwas zu hoch, weil diese Parzellen geringe Menge Ton enthalten (Düngung mit Terpaarde) und ein Teil des austauschfähigen Kalkes also adsorptiv von der Tonsubstanz gebunden wird. Bei der Berechnung der CaO(Humus)-Zahl ist jedoch aller Kalk als Humuskalk berechnet.

Die Tabelle II zeigt weiter deutlich die Wirkung der verabreichten Düngungen.

Die alkalisch gedüngten Parzellen 1 und 3 haben immer, ohne Ausnahme, höhere pH-Werte und höhere CaO(Humus)-Zahlen als die sauer gedüngten Parzellen 2 und 4. Der Gehalt an organischer Substanz ist bei den Parzellen 1 und 3 immer niedriger als bei den Parzellen 2 und 4. Dies weist darauf hin, daß die Zersetzung der organischen Substanz von der Azidität des Bodens (pH) beeinflußt worden ist. Bei der Bekalkung, zumal von Sandböden mit wenig Humus, darf dieser Einfluß der Kalkdüngung auf die Zersetzung der organischen Substanz im Boden nicht außer Acht gelassen werden.

Es läßt sich auch berechnen, wieviel organische Substanz auf den Parzellen 1 und 3 mehr zersetzt ist als auf den Parzellen 2 und 4. Als Beispiel wähle ich die vier Parzellen C. Die Dicke der Krume der Parzelle 1/3 ist 26,8 cm; das Volumgewicht 0,914; der Humusgehalt 19,9; pro ha ist in der Krume also vorhanden $26,8 \times 0,914 \times 19,9 \times 1000 = 487\ 454$ kg Humus. Für Parzelle 2/4 wird die Berechnung: $27,0 \times 0,916 \times 23,9 \times 1000 = 591\ 095$. Pro ha ist also in den vier Jahren Herbst 1919 bis Herbst 1923 auf die 1/3 Parzellen $591\ 095 - 487\ 454 = 103\ 641 =$ rund 100 000 kg organische Substanz mehr zersetzt als auf die 2/4-Parzellen, also pro Jahr im Mittel 25 000 kg mehr.

Auch die Wirkung der Stallmistdüngung und der Düngung mit Ton (Terpaarde) tritt deutlich aus den Zahlen der Tabelle II hervor und zwar nicht nur aus den Prozentgehalten an Humus, sondern auch aus der Dicke der Krume in cm und dem Volumgewicht. Es sind noch einige weitere Bemerkungen zu machen; der Kürze halber begnüge ich mich damit, die Aufmerksamkeit auf die Stickstoff(Humus)-Zahl zu lenken.

Wie bekannt, gehen die organischen Stickstoffverbindungen im Boden, je nachdem sich die organischen Stoffe zersetzen, in lösliche Verbindungen (Ammoniak, Nitrat) über, und bei der Zersetzung der organischen Substanz nimmt dementsprechend der Vorrat an Stickstoff im Boden gleichfalls ab. Die Kohlenwasserstoff-Verbindungen im Humus verschwinden bei diesem Zersetzungsprozesse jedoch in stärkerem Maße, als die N-Verbindungen. Die Folge davon ist, daß der Stickstoffgehalt des Humus während der Humifikation steigt. Es will mir scheinen, als ob wir demnach in dem Prozentgehalt der organischen Stoffe an N, also in der N(Humus)-Zahl der Tabelle II, ein Mittel besitzen, um überhaupt etwas über den Zersetzungszustand der organischen Stoffe im Boden aussagen zu können.

Auch von einem anderen Gesichtspunkte aus ist die Kenntnis dieser Größe von Bedeutung. In dem fast unzersetzten Torf der Hochmoore ist der Stickstoff in einer für die Pflanzen nur schwer zugänglichen Form vorhanden, und je nach dem Grade der Zersetzung der organischen Substanz gehen die Stickstoffverbin-

dungen in besser assimilierbare Verbindungen über. Der Prozentgehalt des Humus an Stickstoff, die N(Humus)-Zahl, muß deshalb auch Aufschluß über den Grad der Assimilierbarkeit des Stickstoffes für die Pflanzen geben. Eine niedrige N(Humus)-Zahl weist auf schlechte, eine hohe Zahl auf gute Assimilierbarkeit des Stickstoffes hin.

Bei der Betrachtung der N(Humus)-Zahlen der Tabelle II sieht man, daß der Boden der vier C-Parzellen die niedrigsten N(Humus)-Zahlen hat (2,45 und 2,46). Die übrigen 6 N(Humus)-Zahlen (2,56, 2,61, 2,68, 2,58, 2,59, 2,58; im Mittel 2,60) sind alle höher. Hier wirken natürlich zwei Faktoren zusammen, nämlich die bessere Zersetzung der organischen Substanz und die auf den Parzellen A, B und D verabreichte Stallmistdüngung.

Versuchsfeld Harkstede (Provinz Groningen).

Auch die folgenden Ergebnisse eines Versuchsfeldes in Harkstede (Provinz Groningen) liefern ein Beispiel für den Einfluß der Bodenazidität auf die Zersetzung der organischen Substanzen im Boden.

Im Jahre 1903 wurde die Hälfte einer Parzelle mit 60 000 kg Kreideschlamm (CaCO_3) pro ha gedüngt. Im Dezember 1923 wurden Bodenproben von den beiden Hälften, gekalkt und ungekalkt, untersucht. Tabelle IV enthält die Analyseergebnisse.

Tabelle IV.
Versuchsfeld Harkstede (Provinz Groningen).

Düngung	Prozentgehalt der Trocken- substanz (105° C) an		Prozentgehalt des Humus an		pH
	Humus	CaO	CaO = CaO(Humus)- Zahl	N = N(Humus)- Zahl	
Gekalkt	33.7	1.69	5.0	2.69	7.1
Nicht gekalkt	40.3	1.09	2.7	2.60	5.0

Wie man sieht, ist der Gehalt an CaO in der Humussubstanz, so wie der pH-Wert, unter Einfluß der Kalkdüngung stark gestiegen, während der Gehalt an organischer Substanz stark zurückgegangen ist. Die N(Humus)-Zahl ist nur wenig gestiegen (2,69—2,60). Es sind also große Mengen Stickstoff bei der Zersetzung der organischen Substanzen verfügbar geworden, welche zum Teil von den Pflanzen aufgenommen, zum Teil vom Regenwasser ausgelaugt sind. Auch in der Kultur sind die Folgen der Kalkdüngung sehr deutlich in Erscheinung getreten. Die Kartoffeln waren auf der gekalkten Hälfte immer schorrig; der Roggen entwickelte sich sehr tüppig und lagerte gewöhnlich. In den Jahren, in welchen die Parzelle als Grasland benutzt wurde, war die Grasnarbe auf der gekalkten Hälfte viel zu locker.

Ich möchte schließlich diese Gelegenheit benutzen, um darauf hinzuweisen, daß die Humusböden mit geringem Tongehalt am besten von den folgenden Größen charakterisiert werden können: pH, Humusgehalt, Gehalt an austausch-

fähigem Kalk und Humuskalk in Prozenten auf Humus oder CaO(Humus)-Zahl (berechnet); Gehalt an Total-Stickstoff und N in Prozenten auf Humus oder N(Humus)-Zahl (berechnet); Gehalt an Phosphorsäure und P_2O_5 in Prozenten auf Humus oder P_2O_5 (Humus)-Zahl (berechnet). Weiter kann die Titrationskurve mit CaO bestimmt werden und ebenso die verschiedenen Sättigungszustände (7).

Schließlich berechne ich die potentielle Adsorption, d. h. die Menge CaO, welche 100 g des Bodens als Ton-Humus-Kalk festlegen (adsorbieren) muß, damit pro 100 g Humus 5,0 g CaO und pro 100 g Ton 1,1 g CaO als Humus-, resp. Tonkalk vorhanden ist (8).

Tabelle V enthält einige Zahlen von einigen typischen niederländischen Humusböden mit sehr geringem Tongehalte.

Tabelle V.

Bodenprobe Nr. B	Ort, Düngung, usw.	pH (10 g Boden mit 25 cc H_2O)	Gehalt in Prozenten auf Trockensubstanz (105° C) an			CaO (Humus)-Zahl (berechnet)	N (Humus)-Zahl (berechnet)	Potentielle Adsorption (berechnet)
			Humus	aust. CaO	Total-N			
Niedermoor (nach Fleischer) (Total-CaO).								
	Mittlerer Wert		85,0	4,00	2,55	4,7	3,0	0,25
	Grenzwert					3,0		
Hochmoor (nach Fleischer) (Total-CaO).								
	Grenzwert					0,50		
	Mittlerer Wert		98,0	0,24	0,98	0,25	1,0	4,66
Versuchsfeld Yhot (Provinz Overijssel), Sandboden.								
2061	Volldüngung + CaO	5,4	7,68	0,111		1,44		0,273
2059	Volldüngung	5,1	8,13	0,115		1,42		0,291
2063	Stallmist + Volldüngung	4,7	8,77	0,075		0,85		0,364
2057	Stallmist	4,5	9,55	0,074		0,77		0,404
Profil Leegmoor (dalgrond), Verh. Zweite Komm., Teil B, Seite 173.								
	Oberkrume	5,8	17,2	0,515	0,41	3,0	2,4	0,344
	Übergangsschicht	4,9	29,1	0,850	0,51	2,9	1,75	0,611
	unverwitt. Hochmoor	3,9	86,5	1,305	0,97	1,5	1,1	3,028
	Diluvialer Sand	4,1	0,8	0	0	0	0	0,040
Versuchsfeld Eelderwolde, Niedermoor, stark mit Stallmist gedüngt.								
1869	mehr CaO enth.	6,0	43,3	1,66	1,68	3,83	3,88	0,507
1857	weniger CaO enth.	5,1	47,2	1,33	1,57	2,82	3,33	1,029
	Unterkrumme (Zeggenmoor)	4,9	71,3	1,55	1,50	2,18	2,10	2,011
Versuchsfeld Harkstede, Niedermoor (ohne Stallmist).								
1609	gekalkt	7,1	33,7	1,685	0,91	5,0	2,69	0,0
1610	ungekalkt	5,0	40,3	1,088	1,05	2,7	2,60	0,927
Versuchsfeld Sappemeer, Dalgrond (Hochmoor mit Sand).								
D 1/3	halb Stallmist, halb Volldüngung + Terpaarde	5,8	18,5	0,595	0,479	3,22	2,59	0,329
C 2/4	Volldüngung (sauer)	4,3	23,9	0,378	0,588	1,58	2,46	0,817

Dieser kurze Beitrag möge genügen, um die große Bedeutung des Kohlenstoffproblems des Bodens hervorzuheben auf die Stoklasa in seinen Arbeiten stets mit Nachdruck hingewiesen hat. Möge die Prophezeiung von Stoklasa und Doerell am Schlusse ihres Handbuches, daß wir von der Zeit nicht weit entfernt sind, wo dem Kohlenstoffproblem des Bodens, sowie der Biodynamik der Bodenmikroorganismen größeres Interesse zugewendet werden wird, bald in Erfüllung gehen.

Literatur:

(1) Handbuch der biophysikalischen und biochemischen Durchforschung des Bodens von Prof. Dr. Julius Stoklasa und Dr. Ernst Gustav Doerell, 1926.

(2) Ebenda, Seite 772.

(3) Ebenda, Seite 768.

(4) Ebenda, Seite 705.

(5) Seite 204 des Handbuches von Stoklasa und Doerell gibt dieselbe Tabelle. Hier muß aber statt 1 g Boden 1 kg Boden stehen.

(6) Betreffend Abtorfung und Urbarmachung der niederländischen Hochmoore siehe Verhandlungen der zweiten Kommission der Int. Bod. Gesellschaft, Groningen (Holland) 1927, Teil B, Seite 171—173.

(7) In meinem Bericht über die Bodenadsorption auf dem Ersten Intern. Bodenkongreß (Washington, Juni 1927) habe ich an einem Beispiel gezeigt, wie verschieden der Sättigungszustand des Bodens, je nach der angewandten Methode, ist. Wie auf Seite 19 dieses Berichtes erwähnt worden ist, ist V (Degree of saturation) von der Bodenprobe B 1690 nach Gedroiz = 88; Hutchinson = 76; Kappen = 75; Gehring = 73—54; Hissink = 22; bei pH = 6 ist V = 86, bei pH = 6,5 ist V = 73; bei pH = 7 ist V = 61; für eine CaO (Humus)-Zahl = 5,0 (potent. Adsorption) ist V = 58.

(8) Siehe Verhandlungen Groningen, 1926, Teil A, Seite 192—193. Die Ca(Humus)-Zahl ist später als 5,0 angegeben.