

631.414.3 : 631.411

DAS GESAMTBASENBINDUNGSVERMÖGEN (T-WERT) DES MINERALISCHEN BODENKOMPLEXES UND SEINER FRAKTIONEN VON VERSCHIEDENEN BODENTYPEN

VON

D. J. HISSINK.

Das Gesamtbasenbindungsvermögen (T-Wert) des mineralischen Bodenkomplexes und seiner Fraktionen wurde für verschiedene Bodentypen bestimmt. Die T-Werte für 100 g von Fraktion I (mineralische Teilchen kleiner als 0.002 mm) wiesen dabei grosse Unterschiede auf (c-Zahlen). Drei Hauptgruppen wurden unterschieden mit Durchschnittszahlen $c = 164, 101$ und 72 . Die untersuchten Niederländischen Böden haben ziemlich gleiche c-Zahlen zwischen 116 und 90 ; sie gehören alle zu der zweiten Gruppe (c im Mittel = 105). Betreffs der Ursache dieser Unterschiede werden einige Bemerkungen gemacht.

Der Vorgang des Basenaustausches des Bodens beruht auf Oberflächenwirkung; es handelt sich um Stoffaustausch in Grenzflächen. Deshalb wird dieser Vorgang auch Basenadsorption genannt. Diese Adsorption des Bodens ist eine Austauschadsorption; wenn der Boden ein Kation aus einer Lösung adsorbiert, so kommt eine äquivalente Menge eines anderen Kations aus dem Boden in Lösung. Die Totalmenge Basen, welche der Boden adsorbieren kann, also das Gesamtbasenbindungsvermögen des Bodens, habe ich T genannt¹⁾. Diese Menge hängt in erster Linie von der Grösse der basenbindenden Oberfläche ab; vielleicht spielt auch die chemische Natur dieser Oberfläche dabei eine Rolle. Von einigen niederländischen Böden haben wir den Anteil des organischen Bodenkomplexes an der Bodenadsorption, wenigstens annähernd, bestimmt und dabei gefunden, dass bei totaler Sättigung (T) 100 g Humus im Mittel 519 Milligrammaequivalente (MAe.) binden²⁾. Bei einer Untersuchung von 4 niederländischen Boden-

¹⁾ Für die Bestimmung des T-Wertes siehe weiteres unter D. J. Hissink, Base Exchange in Soils, Trans. Faraday Soc. 20, part 3, April (1925).

²⁾ In meinen früheren Abhandlungen (siehe z.B. Bodenkundliche Forschungen, Bd I (1928/29), Seite 25/26) ist ein etwas grösserer Wert (100000 : 170 = 588) aufgegeben. Bei der dabei vorgenommenen Berechnung ist die Adsorption der Tonsubstanz vernachlässigt. Unter Berücksichtigung dieser letzteren wird das Äquivalentgewicht der Humussubstanz statt 170, gleich 192 gefunden; also 100 g Humus können $100000 : 192 = 519$ MAe. Basen (T) binden.

Tabelle I.
Niederländische Bodentypen.

Bodenprobe No.	A (5688)	B (6378)	C (6416)	D (2550)
Gehalt des trocknen Bodens (150° C) an				
Humus	3.7	2.3	1.4	0.2
Fraktion I	42.0	67.9	64.7	16.7
Fraktion II	23.4	23.0	16.9	6.7
Fr. I + II (Tonsubstanz)	65.4	90.9	81.6	23.4
Sandfraktion	30.9	6.8	17.0	76.3
% Fraktion I von der Tonsubstanz (Fr. I + II) (a)	64	74	79	71
MAe. T auf 100 g Boden (105° C)	67.0	93.9	77.1	20.6
T in der Humussubstanz	19.2	11.9	7.3	1.0
T in der Tonsubstanz (Fraktion I + II)	47.8	82.0	69.8	19.6
T in Fraktion II	3.3	3.2	2.4	0.9
T in Fraktion I	44.5	78.8	67.4	18.7
T in Fraktion I + II für 100 g Fraktion I + II (b)	73	90	85	84
T in Fraktion I für 100 g Fraktion I (c)	106	116	104	112

Erläuterung: Bodenprobe No. A enthält 3.7 % Humus, 42.0 % Fraktion I (mineralische Teilchen kleiner als 0.002 mm Durchmesser), 23.4 % Fraktion II (dgl. von 0.002 bis 0.016 mm), also 65.4 % Tonsubstanz (I + II) und weiter 30.9 % Sandfraktion (Teilchen von 0.016 bis 2 mm). Boden D enthält ein wenig Salz. Die Tonsubstanz enthält $100 \times 42.0 : 65.4 = 64$ % Fraktion I. Bei totaler Sättigung sind für 100 g Boden (105° C) 67.0 Milligrammaequivalenten (MAe.) Basen adsorbiert (T-Wert). Davon sind anwesend in der Humussubstanz $519 \times 3.7 = 100 = 19.2$ MAe.; in Fraktion I + II also 47.8 MAe. In Fraktion II sind anwesend $23.4 \times 14 : 100 = 3.3$ MAe.; also in Fraktion I 44.5 MAe. Für 100 g Fraktion I + II also $100 \times 47.8 : 65.4 = 73$ MAe. und für 100 g Fraktion I $100 \times 44.5 : 42.0 = 106$ MAe.

typen (siehe Tabelle I: No. 5688 = Meereston; No. 6378 = Flusston; No. 6416 = Lehm Boden; No. 2550 = Geschiebelehm) haben wir weiter den Anteil der verschiedenen Fraktionen des mineralischen Bodenkomplexes an der Basenadsorption bestimmt³⁾ und dabei gefunden, dass bei totaler Sättigung 100 g von Fraktion II (mineralische Teilchen von 0.002—0.016 mm Durchmesser) im Mittel 14 MAe. an Basen bindet, während die Basenadsorption der Sandfraktion (Teilchen von 0.016 bis 2 mm Durchmesser) so gering ist, dass diese vernachlässigt werden kann. Mit Hilfe dieser beiden Zahlen (14 und 106) ist es möglich, den T-Wert von Fraktion I (mineralische Teilchen mit einem Durchmesser kleiner als 0.002 mm) zu berechnen, wenn der T-Wert des ganzen Bodens bekannt ist. Für die Berechnung sei auf Tabelle I hingewiesen (siehe Seite 660). Gefunden wird, dass je 100 g von Fraktion I bei totaler Sättigung (T) 106.

³⁾ Der mineralische Bodenkomplex von D. J. Hissink, S. B. Hooghoudt, Jac. van der Spek; Bodenkundliche Forschungen 5, 21—56 (1936).

bzw. 116, bzw. 104, bzw. 112 MAe adsorbieren. Die Unterschiede zwischen den 4 Böden sind nicht gross, sodass es gestattet ist, wenigstens annähernd einen Mittelwert zu berechnen (109 MAe.). Von dieser Menge sind 75.6 MAe. vorhanden in Unterfraktion a (mineralische Teilchen von 0.03 bis 0.1 Mikron Durchmesser), 21.0 MAe. in Unterfraktion b (dgl. von 0.1 bis 0.25 Mikron) und 12.4 MAe in Unterfraktion c (dgl. von 0.25 bis 2 Mikron)⁴⁾.

Alle diese Untersuchungen beziehen sich auf niederländische Böden. Nach dem Kongress in Oxford (1935) ist die folgende Reihe von Standard-Bodenproben zwecks gemeinschaftlicher Untersuchung auf verschiedene Bodenwerte (p_{H} , S, T, V, u.s.w.) im Institut für Bodenkunde in Groningen, eingegangen (die Zahlen in Klammern sind der Gehalt an Humus und an Fraktion I + II, also an Tonsubstanz):

- I. Schwerer Tonboden, Sudan (0.7; 64.3 + 8.8 = 73.1);
- II. Junger, schwerer Tonboden, Groningen (3.2; 47.4 + 18.4 = 65.8);
- III. Alter, schwerer Tonboden, Groningen (5.1; 47.1 + 23.4 = 70.5);
- IV. Ziemlich sandiger Tonboden, Australien (2.7; 17.2 + 3.1 = 20.3);
- V. Sehr schwerer Tonboden, Australien (1.0; 43.5 + 13.9 = 57.4);
- VI. Russischer Podsolboden (1.3; 13.4 + 27.1 = 40.5);
- VII. Ziemlich schwerer Tschernosem, Russland (11.8; 47.3 + 24.0 = 71.3).

Tabelle II.

Standard-Bodenproben.

Standard-Bodenprobe No.	I	II	III	IV	V	VI
Gehalt des trocknen Bodens (105° C) an						
{ CaCO ₃	2.4	8.7	0	11.9	0	0
{ Humus	0.7	3.2	5.1	2.7	1.0	1.3
{ Fraktion I	64.3	47.4	47.1	17.2	43.5	13.4
{ Fraktion II	8.8	18.4	23.4	3.1	13.9	27.1
{ Fraktion I + II	73.1	65.8	70.5	20.3	57.4	40.5
{ Sandfraktion	23.8	22.3	24.4	65.1	41.3	58.2
% I von I + II (a)	88	72	67	85	76	33
MAe. T auf 100 g Boden (105° C)	106.5	66.8	71.9	43.7	55.7	20.1
T in der Humussubstanz	3.6	16.6	26.4	14.0	5.2	6.7
T in der Tonsubstanz (Fraktion I + II)	102.9	50.2	45.5	29.7	50.5	13.4
T in Fraktion II	1.2	2.6	3.3	0.4	1.9	3.8
T in Fraktion I	101.7	47.6	42.2	29.3	48.6	9.6
T in Fraktion I + II für 100 g Fraktion I + II (b)	141	76	65	146	88	33
T in Fraktion I für 100 g Fraktion I (c)	158	100	90	170	112	72

Boden V enthält ein wenig Salz.

⁴⁾ Nach den Untersuchungen von Hissink, Hooghoudt und van der Spek (siehe Bemerkung 3) adsorbiert bei totaler Sättigung (T) 100 g der Unterfraktion a 142 MAe. Basen; der Unterfraktion b 86 MAe. und der Unterfraktion c 30 MAe. Der Hauptsitz der Adsorption ist die Unterfraktion a. Im Durchschnitt adsorbiert diese Unterfraktion 63.2% der Gesamtmenge an Basen des ganzen mineralischen Bodenkomplexes; die Fraktion I sogar 91.1%. Diese Zahlen beziehen sich auf die 4 untersuchten niederländischen Böden A, B, C, D der Tabelle I.

Der letzte Boden, mit 11.8 % Humus, bleibt hier weiter ausser Betracht.

Es ist nun interessant, die Ergebnisse der Untersuchung dieser 6 Mineralböden mit einander und mit den oben mitgeteilten Ergebnissen der niederländischen Böden zu vergleichen⁵⁾. Dabei wird auf die Tabelle II hingewiesen, aus der insbesondere die Zahlen unter *a*, *b* und *c* besprochen werden sollen. Diese Zahlen sind für die 6 Böden so verschieden, dass von einer Berechnung von Durchschnittszahlen keine Rede sein kann. Wir können die folgenden drei Hauptgruppen unterscheiden (Tabelle III):

Tabelle III.

Bodenproben		I und IV	V, II und III	VI
Durchschnittszahlen	{ a	86	72	33
	{ b	144	76	33
	{ c	164	101	72

Zuerst sei nun bemerkt, dass ein Zusammenhang zwischen den Zahlen unter *a* und denen unter *b* und *c* besteht. Je mehr kleine Teilchen (Fraktion I) in der Tonsubstanz (Fraktion I + II) vorhanden sind (die *a*-Zahlen), um so höher sind die *T*-Werte *b* und *c*. Es ist deutlich, dass dies der Fall sein muss. Das Basenbindungsvermögen, also der *T*-Wert, hängt — wenigstens grössenteils — von der Grösse der basenbindenden Oberfläche ab, und diese Oberfläche steigt, je nachdem die Teilchen kleiner werden, also mit dem Gehalt der Tonsubstanz an Fraktion I (*a*-Zahl). Der Unterschied zwischen den *a*-Zahlen kann jedoch nicht allein die Ursache der Unterschiede zwischen den *b*-Zahlen sein; dafür sind diese letztere Unterschiede zu gross (vergleiche z.B. die Bodenproben I und II mit *a*-Zahlen 88 und 72 und *b*-Zahlen 141 und 76). Wie aus den *c*-Zahlen hervorgeht, sind auch die *T*-Werte der Fraktion I (für 100 g Fraktion I) sehr verschieden und zwar für die drei Gruppen (Tabelle III) 164, bzw. 101, bzw. 72. Die Böden der ersten Gruppe (I und IV) enthalten also nicht nur mehr Teilchen von Fraktion I (für 100 g Fraktion I + II) als die Böden der zweiten Gruppe (V, II, III), sondern diese Teilchen haben auch ein grösseres Basenbindungsvermögen. Dieser letztere Wert findet seinen Ausdruck in dem *T*-Wert unter *c*.

Es würde nun interessant sein, die Ursache der Unterschiede zwischen den *T*-Werten von Fraktion I (Zahlen *c*) kennen zu lernen.

⁵⁾ Eine ausführliche Mitteilung, welche alle Ergebnisse der Untersuchung umfasst, wird später in den Bodenkundlichen Forschungen (Soil Research) erscheinen.

Ist es nur ein Unterschied in der basenbindenden Oberfläche oder spielt die chemische Zusammensetzung, bzw. die mineralogische Natur dieser Oberfläche hier auch eine Rolle? In dieser Hinsicht würde es lehrreich sein, die spezifische Oberfläche der Teilchen von Fraktion I — und deren Subfraktionen — von den 6-Standard-Bodenproben zu bestimmen ⁶⁾.

Weiter sei noch folgendes bemerkt. Die 10 Böden der Tabellen I und II lassen sich in drei Gruppen zusammenbringen, und zwar die 7 Böden A, B C und D und II, III und V in der zweiten Gruppe von Tabelle III. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den sieben *a-b-c*-Zahlen in dieser Gruppe noch ziemlich gross; jedoch weichen sie genügend von den betreffenden Zahlen der beiden anderen Gruppen (Gruppe von Böden No. I und IV und Gruppe Boden No. VI) ab, um sie — jedenfalls in erster Annäherung — in einer Gruppe unterzubringen und Durchschnittszahlen für diese Gruppe zu berechnen. Für diese zweite Gruppe finden wir dann im Mittel $a = 72$; $b = 80$; $c = 106$. Die Zahl b ($= 80$) gibt also an, dass die Tonsubstanz (Fraktion I + II) dieser Gruppe bei totaler Sättigung (*T*) 80 MAe. Basen für 100 g Tonsubstanz (I + II) gebunden hält. Zufällig ist das genau dieselbe Zahl, welche ich früher schon im Mittel in niederländischen Böden gefunden habe. Ich habe damals ⁷⁾ angegeben, dass 1250 mg Tonsubstanz (Fraktion I + II) 1 MAe. Base bindet (Äquivalentgewicht der Tonsubstanz), das sind für 100 g Tonsubstanz also 80 MAe. Basen. Hudig ⁸⁾ hat später Kritik an dieser Zahl geübt; die Übereinstimmung zwischen den einzelnen *b*-Werten der von mir untersuchten niederländischen Bodenproben wäre zu gering. Eine bessere Übereinstimmung würde man, nach Hudig, erhalten, wenn man die Austauschkapazität von Fraktion I auf die Fraktion I (Teilchen kleiner als 2μ) berechnete. Für die *T*-Werte gilt das jedoch nicht; die 7 *c*-Zahlen der zweiten Gruppe stimmen keineswegs besser mit einander überein als die 7 *b*-Zahlen dieser Gruppe. Weiter meint Hudig, dass diese Austauschkapazität

⁶⁾ Hissink, Hooghoudt und van der Spek haben versucht, diese spezifische Oberfläche (*U*-Wert) von den 4 niederländischen Bodenproben A, B, C, D (Tabelle I) zu bestimmen (siehe Bemerkung 3). Siehe weiter auch S. B. Hooghoudt, Bijdrage tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond. 3. Bepaling van het uitwendige oppervlak van het minerale gronddeeltjes-complex. Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen Rijkslandbouwproefstations, No. 41 (1935).

⁷⁾ Siehe die Verhandlungen unter Bemerkung 1. und 2.

⁸⁾ Over het uniforme gedrag van de Nederlandsche klei-substantie bij de omwisselings-reactie, door J. Hudig en R. H. G. Roborgh, Landbouwkundig Tijdschrift 48, 33—39 (1936).

von Fraktion I (für 1 g Fraktion I) eine allgemein gültige Grösse sei und schlägt sogar vor, diese Grösse die *Way*-Einheit (nach *Thomas Way*) zu nennen. Die oben mitgeteilten Ergebnisse zeigen, dass die *c*-Zahlen der 6 Standard-Bodenproben zwischen 170 und 72 liegen; für die *T*-Werte der Fraktionen I ist die Übereinstimmung also weit zu suchen; und die 6 Austauschkapazitäten, nach *Hudig* bestimmt und berechnet (also *MAe.* in Fraktion I für 1 g Fraktion I), werden auch weit aus einander liegen⁹⁾.

Weiter sei noch bemerkt, dass die Berechnung sowohl der Austauschkapazität als auch des *T*-Wertes von Fraktion I für 100 g Fraktion I (*c*-Zahl) grundsätzlich weniger korrekt ist als die Berechnung dieser beide Werte von Fraktion I + II für 100 g Fraktion I + II (*b*-Zahl). So lange es sich um Böden der zweiten Gruppe handelt mit rund 70 % Fraktion I auf Tonsubstanz (Fraktion I + II) — und a fortiori um Böden der ersten Gruppe mit *a*-Zahlen von ungefähr 86 —, wo also die Basenadsorption der Fraktion II eine untergeordnete Rolle spielt, macht es keinen grossen Unterschied aus, ob man die eine Berechnung (*b*-Zahl) oder die andere (*c*-Zahl) wählt. Aber für Böden der dritten Gruppe wie No. VI, wo Fraktion I nur 33 % von Fraktion I + II beträgt, und wo also die Adsorption der Fraktion II mehr ins Gewicht fällt, kann eine Berechnung sowohl der Austauschkapazität als auch des *T*-Wertes von Fraktion I für 100 g Fraktion I (*c*-Zahl), kein gutes Bild weder von der Austauschkapazität noch von dem Gesamtbasenbindungsvermögens des ganzen Bodens geben. Bei derartigen Böden verdienen die *b*-Zahlen jedenfalls den Vorzug vor den *c*-Zahlen.

D e n H a a g, Januar 1940.

(Eingegangen am 7. Februar 1940).

⁹⁾ *Hudig* gibt für seine *Way*-Einheit (Austauschkapazität von 1 g Fraktion I (Teilchen kleiner als 0.002 mM) in *MAe.*) 0.53 *MAe.* an. Nun liegt diese Austauschkapazität vermutlich bei einem *V*-Wert von rund 50; der dazugehörige *T*-Wert ist also $2 \times 0.53 = 1.06$, also für 100 g Fraktion I 106 *MAe.*, das ist zufälligerweise gerade das Mittel der 7 *c*-Zahlen der Gruppe II. In dieser Weise zurückgerechnet, würde für die *Way*-Einheiten der Gruppe I und III $164 : 200 = 0.82$, bzw. $72 : 200 = 0.36$ gefunden werden.