

Über die Austauschkapazität einiger Sandböden in Rheinland-Pfalz

JULIUS BOR

Kurzfassung: Der Einfluß verschiedener Faktoren auf die Austauschkapazität des Bodens wurde anhand von multiplen Regressions- und Korrelationsanalysen an 143 Sandböden untersucht. Die Beteiligung der organischen und anorganischen Substanz wurde mit Hilfe von Ausgleichsrechnung ermittelt. Die Austauschkapazität der organischen Substanz ist mit dem pH-Wert positiv und mit dem Gehalt an organischer Substanz und dem Tongehalt negativ korreliert.

Abstract: The influence of different factors on soil exchange capacity was studied by multiple regression and correlation analysis on 143 sandy soils from Rheinland-Pfalz. The contributions of organic and inorganic substance to soil exchange capacity was determined by way of balancing calculation.

As the statistical analysis indicates the amount of exchange capacity of organic substance is positively correlated with pH-value and negatively correlated with percent organic matter and percent clay.

Einleitung

Die Austauschkapazität (AK), die Summe der austauschbaren Kationen einschließlich der H-Ionen, ist eine der wichtigsten Bodeneigenschaften. Sie beeinflusst die physikalischen, chemischen und biologischen Vorgänge im Boden und dadurch die Boden-genese sowie auch die Bodenfruchtbarkeit.

Als Kationenaustauscher im Boden sind die Tonminerale, die organische Substanz, die Aluminium- und Eisenoxide zu nennen. So richtet sich die Höhe der Austauschkapazität nach der mineralogischen Zusammensetzung der Tonfraktion, dem Anteil bestimmter Stoffgruppen innerhalb der Huminstoffe sowie dem Anteil dieser reaktionsfähigen Minerale und Verbindungen am Gesamt- bzw. Feinboden.

Die Bestimmung des Anteils der organischen und der anorganischen Komponenten an der gesamten Austauschkapazität des Bodens mit und ohne Zerstörung der organischen Substanz (z. B. durch Behandlung mit H_2O_2) ist nicht zufriedenstellend (HEINONEN 1960). Die Frage kann aber anhand von statistischen Analysen ergründet werden (HEINONEN 1960, RENGER 1965).

Untersuchungsmaterial und Analysemethoden

Um das erwähnte Problem speziell an Sandböden zu untersuchen, wurden 143 Sandböden aus der Südpfalz der statistischen Analyse unterzogen (Tab. 1).

6 Tabelle 1:

Mittelwerte (a) und Schwankungsbereiche (b) der zu statistischen Auswertungen herangezogenen Eigenschaften verschiedener Sandböden

Bodengruppe AK-Schwankungs- bereich	An- zahl der Böden	AK mval/100 g		V %		Org. Subst. %		Ton %		Schluff %		pH-Wert	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1. <2	13	1,62	0,81—1,97	18,46	0—67	0,21	0,0—0,54	1,19	0,0—3,7	3,72	0,1—12,2	4,95	4,4—6,0
2. 2—2,99	13	2,58	2,23—2,92	49,00	0—79	0,54	0,0—1,34	1,76	0,0—3,4	5,85	0,0—12,7	6,11	4,3—7,6
3. 3—3,99	11	3,51	3,07—3,89	29,45	2—60	0,79	0,16—1,28	2,23	0,0—5,8	8,30	5,6—13,6	5,48	4,5—6,6
4. 4—4,99	10	4,67	4,00—4,99	31,90	0—79	1,20	0,21—3,14	4,01	0,6—8,2	7,36	2,5—15,6	5,52	4,0—7,6
5. 5—5,99	15	5,40	5,06—5,72	41,27	4—83	1,28	0,20—3,02	4,36	0,6—9,6	8,19	2,6—16,4	5,78	4,3—7,5
6. 6—6,99	13	6,49	6,00—6,96	41,10	18—79	2,69	0,20—5,16	4,70	2,2—10,2	8,75	1,8—15,7	5,85	4,7—7,3
7. 7—7,99	7	7,50	7,11—7,93	40,71	0—85	2,55	1,38—3,82	4,11	1,4—9,4	10,94	7,0—16,1	5,61	4,6—7,8
8. 8—8,99	10	8,38	8,04—8,84	30,57	0—89	1,79	0,80—2,54	6,41	0,8—12,5	7,85	2,7—21,0	4,86	3,6—7,2
9. 9—9,99	8	9,52	9,52—9,96	47,00	6—90	1,38	0,48—3,35	10,78	0,9—17,2	12,21	2,0—22,0	5,34	4,0—7,3
10. 10—10,99	11	10,39	10,01—10,91	36,33	0—86	2,60	0,37—7,48	9,51	3,4—16,0	11,19	3,0—19,6	5,21	3,8—7,1
11. 11—12,99	8	12,05	11,01—12,99	42,71	2—76	1,99	0,25—4,83	9,93	3,5—19,4	13,79	5,0—26,0	4,89	4,1—5,5
12. 13—14,99	6	14,15	13,40—14,77	38,83	0—90	2,63	0,46—3,85	12,07	2,0—25,0	16,45	8,2—29,6	5,07	3,5—7,2
13. 15—19,99	4	17,49	15,93—19,70	75,67	64—86	0,88	0,50—1,31	24,57	23,2—25,7	13,73	7,6—20,0	5,43	4,6—6,2
14. 20—24,99	7	21,61	20,26—24,56	31,74	1—77	6,26	1,81—10,62	10,16	4,0—17,6	18,19	7,8—25,8	4,50	3,7—6,0
15. 25—29,99	4	27,36	25,29—29,83	18,75	1—55	9,28	3,42—15,50	8,13	1,0—16,6	8,93	4,2—16,0	4,13	3,5—5,2
16. >30	3	33,15	31,34—35,20	3,33	1—6	10,94	7,49—13,30	7,43	2,8—12,8	12,43	5,2—21,1	3,53	3,5—3,6

Analysenmethoden:

- Kornzusammensetzung: nach der Pipettenmethode von KÖHN
- pH-Wert, elektrometrisch in 0,1 n KCl-Suspension (1:2,5)
- organische Substanz, spektral-photometrisch in chrom-schwefelsaurem Reaktionsgemisch nach HARRE. Der C-Gehalt der organischen Substanz wurde mit 58⁰/₁₀₀ angenommen
- (T—S)-Wert mit Ca-Acetat
- S-Wert nach VAGELER-ALTEN

Für die Bestimmung des S-Wertes kann jedoch das Verfahren dadurch abgekürzt werden, daß man anstelle von Doppeltitration einen von uns aus etwa 550 Analysen ermittelten Faktor (f) einsetzt. Die Berechnung erfolgt dann nach der Formel:

$$S\text{-Wert}_{\text{mval}/100\text{ g}} = d \times 1,273$$

d = Differenz zwischen dem Blindwert (verbrauchte ml NaOH 0,1 n für die Titration von z. B. 50 ml 0,1 n Ammoniumchloridlösung) und der titrierten Menge an NaOH 0,1 n für 50 ml Filtrat aus 50 g Boden/250 ml 0,1 n NH₄Cl.

Der Faktor f = 1,273 ergibt sich aus der folgenden Berechnung:

$$S\text{-Wert} = \frac{1000}{2 b_2 - b_1} \quad b_1 = \frac{1000}{y_1} \quad b_2 = \frac{1000}{y_2} \quad (\text{THUN 1955})$$

$$S\text{-Wert} = \frac{y_1 \cdot y_2}{2 y_1 - y_2} \quad \text{wobei } y_1 = d_1 \text{ und } y_2 = 2 d_2$$

$$S\text{-Wert} = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 - d_2}$$

d₁ = Blindwert minus ml NaOH bei Proben mit 50 g Boden/250 ml 0,1 n NH₄Cl-Lösung

d₂ = Blindwert minus ml NaOH bei Proben mit 50 g Boden/500 ml 0,1 n NH₄Cl-Lösung

Da zwischen d₁ und d₂ die Beziehung d₂ = d₁ · k besteht, ist

$$S\text{-Wert} = \frac{d_1 \cdot k}{1 - k}$$

Die Größe k wurde mit 0,56 ± 0,007 gefunden, so ergibt sich der Faktor

$$f = \frac{k}{1 - k} = 1,273 \pm 0,036.$$

Statistische Auswertung und Ergebnisse

Probleme hinsichtlich der Beziehungen zwischen zwei und mehr Variablen werden mit Hilfe von Regressions- und Korrelationsanalysen gelöst. Während sich die Regressionsanalyse mit der Art des Zusammenhanges zwischen den Variablen beschäftigt, wird durch die Korrelationsanalyse der Grad dieser Beziehung bestimmt.

Bei der Regressionsanalyse sucht man nach einer algebraischen Beziehung zwischen den abhängigen Variablen und den anderen Merkmalen, aus der man die abhängige Variable als Durchschnittswert für gegebene Werte von unabhängigen Merkmalen berechnen kann.

Die Abhängigkeit der Austauschkapazität des Bodens vom Gehalt an anorganischer Substanz, Ton und Schluff (2 – 20 μ) ergibt sich aus der mehrfach linearen Regressionsgleichung:

$$AK = a + b_1 (\% \text{ org. Subst.}) + b_2 (\% \text{ Ton}) + b_3 (\% \text{ Schluff})$$

Die Regressionskoeffizienten b_1 , b_2 und b_3 geben an, daß sich die Austauschkapazität im Mittel um b_1 , b_2 bzw. b_3 mval/100 g Boden ändert, wenn die organische Substanz, der Ton bzw. der Schluff um je eine Einheit (%) zunehmen. Die Konstante a zeigt die Höhe des Einflusses anderer, in die Berechnung nicht einbezogener Faktoren auf die Austauschkapazität an (Tab. 2).

Tabelle 2: Abhängigkeit der Austauschkapazität von der Zusammensetzung der Sandböden

Bodengruppe	Anzahl der Böden	orga- nische Substanz				R
		a	b_1	Ton < 2 μ b_2	Schluff 2–20 μ b_3	
1. Sandböden insgesamt	143	1,15	1,93***	0,51***	0,03*	0,70***
2. Sandböden (ohne Schluff)	143	1,33	1,94***	0,53***	n. b.	0,61***
3. pH 4,0–7,3	131	1,09	1,92***	0,52***	0,02*	0,71***
4. pH 4,0–7,3 (ohne Schluff)	131	1,11	1,93***	0,54***	n. b.	0,67***
5. pH 4,5–6,5	78	0,75	1,28***	0,56***	0,08*	0,67***
6. pH 4,5–6,5 (ohne Schluff)	78	1,12	1,37***	0,60***	n. b.	0,62***

Die für die Berechnung der Konstante a und der Regressionskoeffizienten b_1 , b_2 und b_3 in Betracht kommenden Gleichungen lauten:

$$\begin{aligned} \text{I. } & n a + \sum x_1 b_1 + \sum x_2 b_2 + \sum x_3 b_3 = \sum y \\ \text{II. } & \sum x_1 a + \sum x_1^2 b_1 + \sum x_1 x_2 b_2 + \sum x_1 x_3 b_3 = \sum x_1 y \\ \text{III. } & \sum x_2 a + \sum x_1 x_2 b_1 + \sum x_2^2 b_2 + \sum x_2 x_3 b_3 = \sum x_2 y \\ \text{IV. } & \sum x_3 a + \sum x_1 x_3 b_1 + \sum x_2 x_3 b_2 + \sum x_3^2 b_3 = \sum x_3 y \end{aligned}$$

Σ = Summe

y = Austauschkapazität des Bodens in mval/100 g

x_1 = Gehalt an organischer Substanz (%)

x_2 = Tongehalt (%)

x_3 = Schluffgehalt 2 – 20 μ (%)

Die Unbekannten wurden mit Hilfe von Determinanten nach der SARRUS-Regel ermittelt.

Die Signifikanz der Regressions- und Korrelationskoeffizienten wurde mit dem F-Test für folgende Bereiche geprüft:

- *p = 5,0 % (signifikant)
- **p = 1,0 % (hoch signifikant)
- ***p = 0,1 % (sehr hoch signifikant)

Für die Austauschkapazität als Funktion der Zusammensetzung des Bodens ergibt sich für eine Anzahl von $n = 143$ verschiedenen Sandböden folgende Regressionsgleichung:

$$Y = 1,5 + 1,93 (\% \text{ org. Subst.}) + 0,51 (\% \text{ Ton}) + 0,03 (\% \text{ Schluff})$$

Der Korrelationskoeffizient ist direkt-linear und mit $0,67^{***}$ sehr hoch signifikant. Er errechnet sich aus der Formel:

$$R = \frac{\overline{xy}}{\overline{x} \cdot \overline{y}} \sqrt{1 - \frac{\sum (y - \bar{Y}_{x_{1,2,3,\dots,n}})^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}$$

$$\text{dabei ist: } \sum (y - \bar{y})^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$\bar{Y}_{x_{1,2,3,\dots,n}}$ die als Durchschnittswert für gegebene Werte von unabhängigen Merkmalen berechnete AK

\bar{y} = Mittelwert der AK der untersuchten Böden

Außer den drei berücksichtigten Variablen beeinflussen die Austauschkapazität des Bodens, wie die Konstante $a = 1,15$ andeutet, auch andere Faktoren. Zu diesen zählt neben dem pH-Wert die Höhe des Gehaltes an organischer Substanz und an Ton (RENGER 1964). Um die Wirkungsart dieser Faktoren zu analysieren, wurden sie zunächst in eine erweiterte Gleichung einbezogen und die zugeordneten Regressionskoeffizienten bestimmt. Aus der Berechnung der 7 Gleichungen mit 7 Unbekannten ergibt sich die Regressionsgleichung:

$$y = 0,71 + (2,12 + 0,01 \text{ pH} - 0,02 \% \text{ org. Subst.} - 0,01 \% \text{ Ton}) \% \text{ org. Subst.} + 0,55 \% \text{ Ton} + 0,07 \% \text{ Schluff.}$$

Der mehrfache Korrelationskoeffizient ist auch diesmal sehr hoch signifikant und von $0,67$ auf $0,69$ gestiegen, während die Regressionskonstante a von $1,15$ auf $0,71$ zurückgegangen ist. Dies deutet auf eine bessere Erfassung der beeinflussenden Faktoren hin.

Wie aus der Gleichung hervorgeht, wird die Austauschkapazität der organischen Substanz vom pH-Wert positiv und von der Höhe des Gehaltes an organischer Substanz sowie an Ton negativ beeinflusst. Diese Aussage wird durch die weiteren statistischen Berechnungen bestätigt.

Die Berechnung der Austauschkapazität verschiedener Bodenbestandteile erfolgte mittels der Ausgleichsrechnung, wobei man davon ausgeht, daß die Austauschkapazität linear und additiv ausschließlich von der organischen Substanz, dem Ton und dem Schluff bestimmt wird.

$$AK = b_1 (\% \text{ org. Subst.}) + b_2 (\% \text{ Ton}) + b_3 (\% \text{ Schluff})$$

Die unbekanntenen Koeffizienten, die der mittleren Austauschkapazität in mval/g organische Substanz (b_1), Ton (b_2) und Schluff (b_3) entsprechen, wurden mit den Gleichungen

$$\begin{aligned} \text{I. } & \Sigma x_1^2 b_1 + \Sigma x_1 x_2 b_2 + \Sigma x_1 x_3 b_3 = \Sigma x_1 y \\ \text{II. } & \Sigma x_1 x_2 b_1 + \Sigma x_2^2 b_2 + \Sigma x_2 x_3 b_3 = \Sigma x_2 y \\ \text{III. } & \Sigma x_1 x_3 b_1 + \Sigma x_2 x_3 b_2 + \Sigma x_3^2 b_3 = \Sigma x_3 y \end{aligned}$$

und wie oben mit Hilfe von Determinanten ermittelt.

Die Werte (Tab. 3) zeigen, daß sich im Durchschnitt die organische Substanz mit 1,98 mval/g, der Ton mit 0,54 mval/g und der Schluff (2–20 μ) mit 0,09 mval/g an der Austauschkapazität der untersuchten Sandböden beteiligen.

Die Austauschkapazität der nach pH-Bereichen gruppierten Böden zeigt einen Einfluß des pH-Wertes, besonders auf die Austauschkapazität der organischen Substanz, die mit zunehmendem pH-Wert ansteigt. Die Korrelation zwischen der Austauschkapazität der organischen Substanz (y_1) sowie der des Tons (y_2) und dem pH-Wert (x) ist direkt linear und hochsignifikant. Der Einfluß des pH-Wertes auf die Austauschkapazität des Schluffs ist nicht gesichert.

Tabelle 3: Mittlere Austauschkapazität der organischen Substanz, des Tons und des Schluffs verschiedener Sandböden

Bodengruppe	Anzahl der Böden	Mittlere Werte			Austauschkapazität mval/g		
		pH	% org. Subst.	% Ton	org. Subst. b_1	Ton < 2 μ b_2	Schluff 2–20 μ b_3
1. Sandböden insges.	143	5,09	2,18	6,11	1,98	0,54	0,09
2. pH 4,0–7,3	131	5,21	1,78	6,17	2,00	0,55	0,07
3. pH 4,5–6,5	78	5,40	1,69	6,06	1,33	0,57	0,12
4. pH < 4,0	12	3,68	6,60	5,44	0,98	0,48	–0,03
5. pH 4,0–4,4	22	4,20	2,63	5,20	1,08	0,49	0,11
6. pH 4,5–4,9	23	4,60	1,75	5,07	1,16	0,50	0,20
7. pH 5,0–5,4	26	5,38	1,51	4,74	1,53	0,49	0,16
8. pH 5,5–5,9	25	5,61	1,84	7,99	1,59	0,63	–0,01
9. pH 6,0–6,4	14	6,23	1,63	5,91	1,67	0,66	–0,09
10. pH 6,5–6,9	10	6,70	1,65	4,53	1,93	0,65	0,10
11. pH > 7,0	11	7,21	1,36	8,52	2,14	0,65	0,01
12. < 3% Ton	29	5,25	1,26	1,35	2,18	0,65	0,07
13. 3–9,99% Ton	22	5,38	1,13	5,62	1,73	0,62	0,08
14. > 10% Ton	13	5,14	1,01	18,21	0,88	0,65	–0,01
15. < 1% org. Subst.	38	5,44	0,45	6,47	2,85	0,73	0,03
16. 1–2,99% org. Subst.	21	5,23	2,06	5,20	1,78	0,58	0,08
17. 3–3,99% org. Subst.	16	5,64	3,50	6,56	1,61	0,60	0,06
18. > 6% org. Subst.	10	4,07	9,44	7,24	1,13	0,57	0,11

$$y_1 = 0,27 x + 0,02; \quad r = 0,90^{***}$$

$$y_2 = 0,11 x - 0,02; \quad r = 0,86^{***}$$

Um den Einfluß des Gehaltes an organischer Substanz einerseits und an Ton andererseits auf die Austauschkapazität nachzuweisen, wurden die Bodenproben mit annähernd gleichem pH-Wert in vier Bereichen des Gehaltes an organischer Substanz bzw. in drei Bereichen des Tongehaltes gruppiert.

Während die Austauschkapazität des Tons und des Schluffs keine Abhängigkeit vom Gehalt an organischer Substanz zeigt, wird die der organischen Substanz selbst negativ beeinflusst (Tab. 3). Auch einen negativen Einfluß des Tons auf die Austauschkapazität der organischen Substanz wurde festgestellt.

Die Abhängigkeit der Austauschkapazität der organischen Substanz vom pH-Wert des Bodens ist nach HALLSWORTH & WILKINSON (1958) auf die blockierende Wirkung von Al- und Fe-Hydroxiden zurückzuführen.

Der Humifizierungsprozeß kann in sauren Böden sowie unter anaeroben Verhältnissen verlangsamt werden und dadurch niedrigere AK-Werte der organischen Substanz verursachen. Damit läßt sich die negative Korrelation zwischen den Austauschkapazitäten der organischen Substanz und dem Gehalt an organischer Substanz (FASTABEND & RENGER 1968) sowie dem Tongehalt (HEINONEN 1960) zum Teil erklären.

Die Zusammensetzung des Kationenbelags von Böden variiert vor allem mit dem pH-Wert (Tab. 4). In sauren Böden (pH = 3,5 – 5,5) werden die Basen hauptsächlich an dem anorganischen Austauscher gebunden, während an der organischen Substanz Al- und H-Ionen angereichert sind. Erst über einem pH-Wert von 5,6 besteht eine gesicherte Beziehung zwischen dem organischen Austauscher und den Mg- bzw. Ca-Ionen.

Tabelle 4: Zusammensetzung des Kationenbelages

Kationenbelag	pH-Bereich 3,5—5,5 (61 Böden)				pH-Bereich 5,6—7,3 (51 Böden)			
	organische Substanz		Ton		organische Substanz		Ton	
	b ₁	r	b ₂	r	b ₁	r	b ₂	r
Ca** : mg CaO/g	4,91	0,08, n.g.	7,21	0,77***	14,10	0,28*	12,43	0,85***
Mg** : mg Mg/g	0,46	–0,05, n.g.	0,76	0,78***	1,83	0,44***	0,49	0,63***
K* : mg K ₂ O/g	1,49	0,04, n.g.	0,87	0,51***	5,25	0,39**	0,36	0,60***
Na* : mg Na ₂ O/g	0,64	0,38**	0,21	0,47***	0,98	0,40**	0,17	0,51***
H* : mval H/g	0,12	0,67***	0,005	–0,10, n.g.	0,22	0,28**	0,00	—
Al*** : mval Al/g	0,34	0,51***	0,006	–0,14, n.g.	0,00	—	0,00	—

n.g. = nicht gesichert

Zusammenfassung

Die Austauschkapazität der organischen Substanz in den untersuchten Sandböden beträgt im Mittel 1,98 mval/g und nimmt von 0,98 mval/g beim pH < 4,0 bis 2,14 mval/g beim pH > 7,0 progressiv zu. Sie ist außerdem vom Gehalt an organischer Substanz sowie vom Tongehalt negativ beeinflusst. Die Austauschkapazität des Tons beträgt im

Durchschnitt 0,54 mval/g und die des Schluffs (2–20 μ) 0,09 mval/g. Ein Einfluß des pH-Wertes auf die Austauschkapazität des Tons konnte festgestellt werden, nicht aber auf die des Schluffs.

Der höchste mehrfache Korrelationskoeffizient R und die geringste Regressionskonstante a ergaben sich aus der Gleichung:

$$y = 0,71 + (2,12 + 0,01 \text{ pH} - 0,02\% \text{ org. Subst.} - 0,01\% \text{ Ton}) \% \text{ org. Subst.} + 0,55\% \text{ Ton} + 0,07\% \text{ Schluff (2 - 20 } \mu \text{)}.$$

Schriften

- BIJI, E. & POPESCU-NEGURA, S. (1971): Metode de calcul al corelatiilor in productia agricola. 192 S., Bukarest (Ed. „Ceres“).
- CEAPOIU, N. (1968): Metode statistice aplicate in experientele agricole si biologice. Bukarest (Ed. Agro-Silvica).
- FASTABEND, H. & RENGER, M. (1968): Untersuchungen über die Austauschkapazität der organischen und anorganischen Substanz von Marschböden. — Geol. Jb., **85**, S. 435–460, Hannover.
- HARRE, W. (1968): Die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs in Böden nach dem Chrom-Schwefelsäure-Verfahren. — Geol. Jb., **85**, S. 407–434, Hannover.
- HALLSWORTH, E. G. & WILKINSON, G. K. (1958): The contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of the soil. — J. agric. Sci., **51**, S. 1–3, London/New York.
- HEINONEN, R. (1960): Über die Umtauschkapazität des Bodens und verschiedener Bodenbestandteile in Finnland. — Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkd., **88**, S. 49–59, Weinheim/Berlin.
- MCLEAN, E. O. & OWEN, E. J. (1969): Effects of pH on the contributions of Organic Matter and Clay to Soil Cation Exchange Capacities. — Proc. Soil Sci. Soc. Amer., **33**, S. 855–858, Madison (Wisc.).
- OBREJANU, G. & PUIU, S. (1972): Pedologie. 476 S. Bukarest (Ed. didact. si pedagog.).
- RENGER, M. (1964): Die Bestimmung und Berechnung der Austauschkapazität des Bodens und seiner organischen und anorganischen Anteile. 98 S., Diss. TH Hannover.
- RENNER, E. (1970): Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung. 116 S., 11 Abb., 62 Tab., Berlin/Hamburg (Parey).
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1966): Lehrbuch der Bodenkunde. 473 S., 114 Abb., 84 Tab., 1 Farbt., Stuttgart (Enke).
- STÖHR, W. TH. (1966): Übersichtskarte der Bodentypen-Gesellschaften von Rheinland-Pfalz 1:250 000. — Hrsg.: Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, Mainz.
- THUN, R., HERRMANN, R. & KNICKMANN, E. (1955): Methodenbuch I: Die Untersuchung von Böden. 270 S., Radebeul/Berlin (Neumann).

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. agr. JULIUS BOR, Geologisches Landesamt Rheinland-Pfalz, D-6500 Mainz, Flachsmarktstraße 9

Manuskript eingegangen am 11. 11. 1974