

Agrarwissenschaftliche Universität Gödöllő, Ungarn  
Lehrstuhl für Bodenkunde und Agrochemie

GYÖRGY FÜLEKY und LASZLO TOLNER

## Gemeinsames Modell der P-Adsorption und P-Desorption im Boden

### Einleitung

Die Adsorptionskurven der dem Boden zugeführten Phosphate und die Desorptionskurven, die das In-die-Bodenlösung-Gelangen der gebundenen Phosphate beschreiben, sind nicht identisch (BARROW u. SHAW, 1975; KAFKAFI u. a., 1967). Deshalb sind die Adsorptionskurven der Phosphate zur Voraussage der P-Nachlieferungsfähigkeit der Böden weniger geeignet als die Desorptionskurven. Die vom Boden adsorbierten Phosphationen gehören grundlegend zwei Typen an. Der eine Typ ist am Phosphatgleichgewicht zwischen Boden und Bodenlösung nicht beteiligt und auch isotopisch nicht austauschbar. Diese Form wird als fixiertes, irreversibel gebundenes, nicht labiles Phosphat bezeichnet (KAFKAFI u. a., 1967). Die übrigen Phosphationen sind reversibel gebunden, isotopisch austauschbar und nehmen am bestehenden P-Gleichgewicht zwischen Boden und Bodenlösung teil. Diese Form wird auch labiles Phosphat genannt und wird im Laufe der Wasserextraktion desorbiert. Das Bestehen dieser zwei Typen der Phosphationen kann mehrere Gründe haben: z. B. kann kein tatsächliches Gleichgewicht während der Adsorption zustande kommen, eventuell spielen sich Diffusionsvorgänge in der festen Phase ab, oder es entstehen unlösliche Phosphatverbindungen. Die Fixierung der dem Boden zugefügten Phosphationen kann auch damit erklärt werden, daß sich nach einer Wasserextraktion die Phosphationen nicht mehr durch eine einfache, sondern durch eine Doppelbindung an die feste Phase des Bodens binden. Es kann auch angenommen werden, daß die Phosphationen die Silikationen aus dem Gitter der Tonminerale verdrängen (WHITE u. TAYLOR, 1977).

### Material und Methoden

An aus den genetischen Horizonten von vier einer Bodenserie angehörenden Böden stammenden Bodenproben (Tab. 1) wurde die Adsorption von  $H_2PO_4^-$ -Ionen und die Desorption der vorhergehend adsorbierten  $H_2PO_4^-$ -Ionen untersucht.

Zu je 5 g lufttrockenem Boden wurden 50 cm<sup>3</sup>  $KH_2PO_4$ -Lösungen zugefügt. Diese Lösungen hatten ansteigende P-Konzentrationen (Tab. 2). Die Suspensionen wurden 24 Stunden lang geschüttelt. Nach dem Filtrieren wurde der P-Gehalt der Filtrate mit Hilfe der Methode von MURPHY und RILEY bestimmt (Tab. 2).

Tabelle 1

Physikalische und chemische Eigenschaften der Böden

Bodentyp	No.	Tiefe (cm)	pH (H <sub>2</sub> O)	CaCO <sub>3</sub> %	Humus %	Ton- gehalt %
<b>I</b>						
Brauner Waldboden	1	0... 25	5,40	0	1,53	20,89
	2	25... 60	6,60	0	0,44	23,48
	3	90...110	7,80	21,19	0	15,75
<b>II</b>						
Wiesenboden	1	0... 45	7,30	7,89	2,65	26,99
	2	45... 80	7,60	3,84	1,55	37,08
	3	115...130	7,70	0,99	0,38	26,94
<b>III</b>						
Humuskarbonatboden	1	0... 30	6,30	0	1,85	22,29
	2	30... 70	7,00	0,16	1,08	28,35
	3	80...110	7,90	29,13	0	12,18
<b>IV</b>						
Brauner Waldboden mit Toneinwaschung	1	0... 30	6,60	0	1,62	21,39
	2	30... 65	7,10	0	0,66	27,39

Tabelle 2

Untersuchungsergebnisse der P-Adsorption, Bodenprobe II.1.

Zu 5 g Boden zugefügte P-Menge µg je 50 cm <sup>3</sup>	Gleichgewichtskonzentration µg P je 50 cm <sup>3</sup>	Adsorbierte P-Menge µg je g Boden
0	0	0
25	0,8	4,84
50	1,07	9,79
100	1,34	19,73
150	2,81	29,44
200	8,45	38,31
300	20,65	55,87
400	37,1	72,58
500	48,8	90,24
750	108,0	128,40
1 000	194,16	161,17
1 500	408,66	218,27
2 000	639,00	272,2
2 500	930,00	314,0
3 000	1 216,50	356,7
5 000	2 640,0	472,0

Die auf den Filterpapieren zurückgebliebenen Bodenproben wurden dann bis zum lufttrockenen Zustand getrocknet. Die Untersuchung der Desorption wurde mit folgenden Bodenproben vorgenommen: Wiesenboden II. 1. und 3. sowie Humuskarbonatboden III. 1. und 3. (Tab. 1). Zwecks Desorption wurde folgendermaßen

gearbeitet: Zu je 5 g Bodenproben wurden 50 cm<sup>3</sup> destilliertes Wasser zugefügt. Die Suspensionen wurden 24 Stunden lang geschüttelt. Danach wurde filtriert und der P-Gehalt im Filtrat bestimmt. Diese Wasserextraktion wurde so oft wiederholt, bis im Filtrat schon kein P mehr nachgewiesen werden konnte. Die Wasserextraktion wurde im allgemeinen 6- bis 15mal wiederholt (Tab. 3).

### Ergebnisse und Diskussion

Die Daten der im Laufe der mehrstufigen Desorptionsuntersuchungen gefundenen P-Konzentrationen können auf zweierlei Weise bewertet werden. Im Laufe der entsprechend der Literatur durchgeführten Bewertung (BARROW u. SILAW, 1975) wird von der adsorbierten P-Menge eines gegebenen Punktes die in die Lösung gelangte P-Menge abgezogen und diese Differenz wird als Funktion der Gleichgewichts-P-Konzentration dargestellt (Abb. 1).

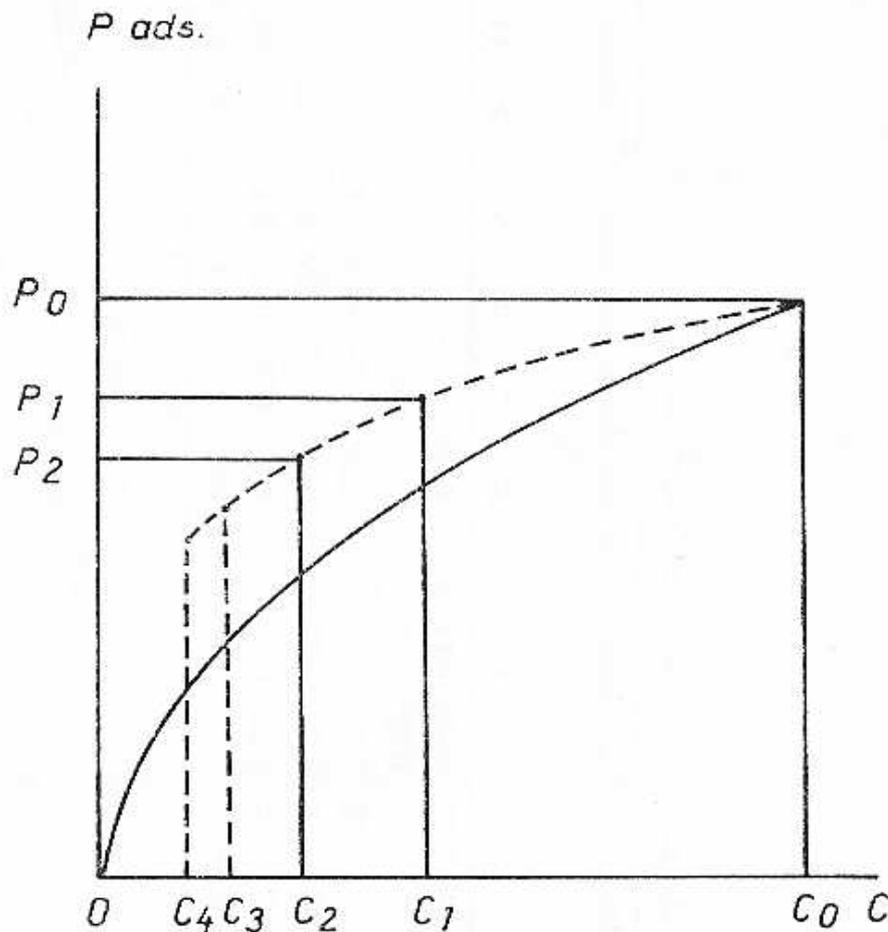


Abb. 1: Herkömmliche Darstellung der P-Adsorption und P-Desorption

- $c_0$  — die Gleichgewichtskonzentration bei Adsorption,
- $P_0$  — die adsorbierte P-Menge,
- $c_1$  — in der Lösung mit einer Gleichgewichtskonzentration ist im Laufe der Desorption eine durch  $P_0 - P_1$  gekennzeichnete P-Menge zugegen, usw.

Tabelle 3

Untersuchungsergebnisse der P-Desorption, Bodenprobe II.1.

Zu 5 g Boden zugefügte P-Menge $\mu\text{g je } 50 \text{ cm}^3$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Q = maximal desorbierbare P-Menge (berechnet)
400	0,24	0,22	0,15	0,11	0,1	0,05										53
750	0,48	0,2	0,58	0,27	0,26	0,24	0,19	0,12	0,04							51
1 000	0,45	0,26	0,55	0,45	0,39	0,36	0,25	0,2	0,12	0,04						71
1 500	1,83	1,07	0,95	0,73	0,62	0,48	0,44	0,36	0,29	0,24	0,13	0,07	0,03			110
2 000	2,67	1,46	1,32	0,99	0,82	0,65	0,58	0,49	0,4	0,3	0,22	0,13	0,08	0,03		141
3 000	5,56	2,69	1,91	1,51	1,21	0,97	0,7	0,62	0,54	0,46	0,37	0,29	0,14	0,07	0,03	212

Im Gegensatz dazu beruht unser Bewertungsvorgang darauf, daß mit Hilfe der Konzentrationsangaben die die Desorption beschreibende Funktion bestimmt wird, woraus die den Meßergebnissen entsprechende  $c_1, c_2, c_3 \dots$  Konzentrationsserie berechnet werden kann. Zwecks Modellierung wurde die Sorptionsisotherme von FREUNDLICH in der Form  $P_{\text{Boden}} = a \cdot c^{1/n}$ , und die Bilanzgleichung in der Form  $P_{\text{Boden}} = Q - P_{\text{Lösung}}$  ( $Q =$  desorbierbare P-Menge) gleichzeitig in Betracht gezogen. Wenn eine entsprechende Maßeinheit gewählt wird, ist  $c = P_{\text{Lösung}}$ . So können die obigen zwei Gleichungen in ein Gleichungssystem zusammengefaßt werden. Abbildung 2 veranschaulicht die Lösung dieses Gleichungssystems.

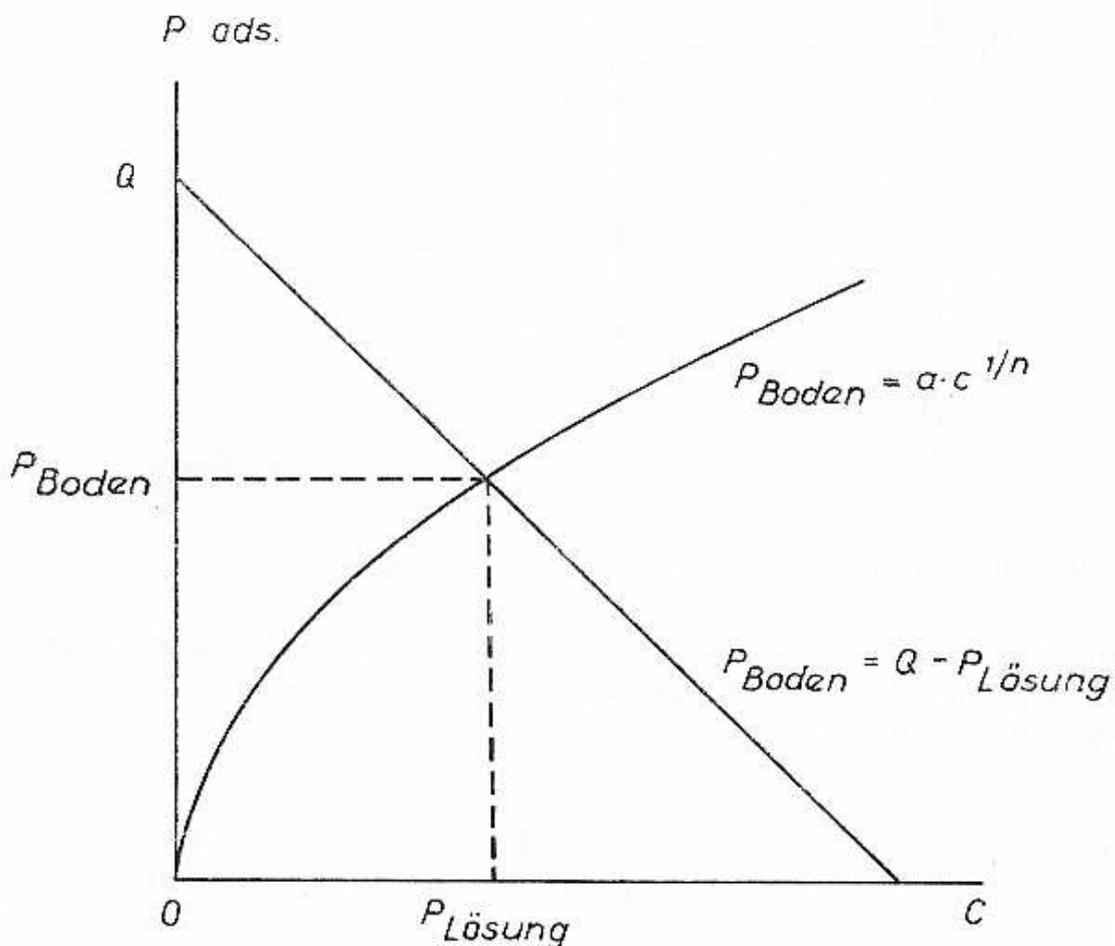


Abb. 2: Modell der einstufigen P-Desorption, graphische Darstellung

Im Falle von mehreren aufeinanderfolgenden Desorptionsvorgängen kann das Modell veranschaulicht werden (Abb. 3). Wie ersichtlich, kann mit Hilfe des Modells auch eine den gemessenen Werten entsprechende Serie mit abnehmenden P-Konzentrationen erhalten werden. An Hand eines Iterationsverfahrens werden die Parameter des Modells ( $Q, a, 1/n$ ) so gestaltet, daß die Summe der Abweichungsquadrate der einzelnen Glieder der berechneten und gemessenen Konzentrationsserie minimal sein soll (TOLNER u. FULEKY, 1987).

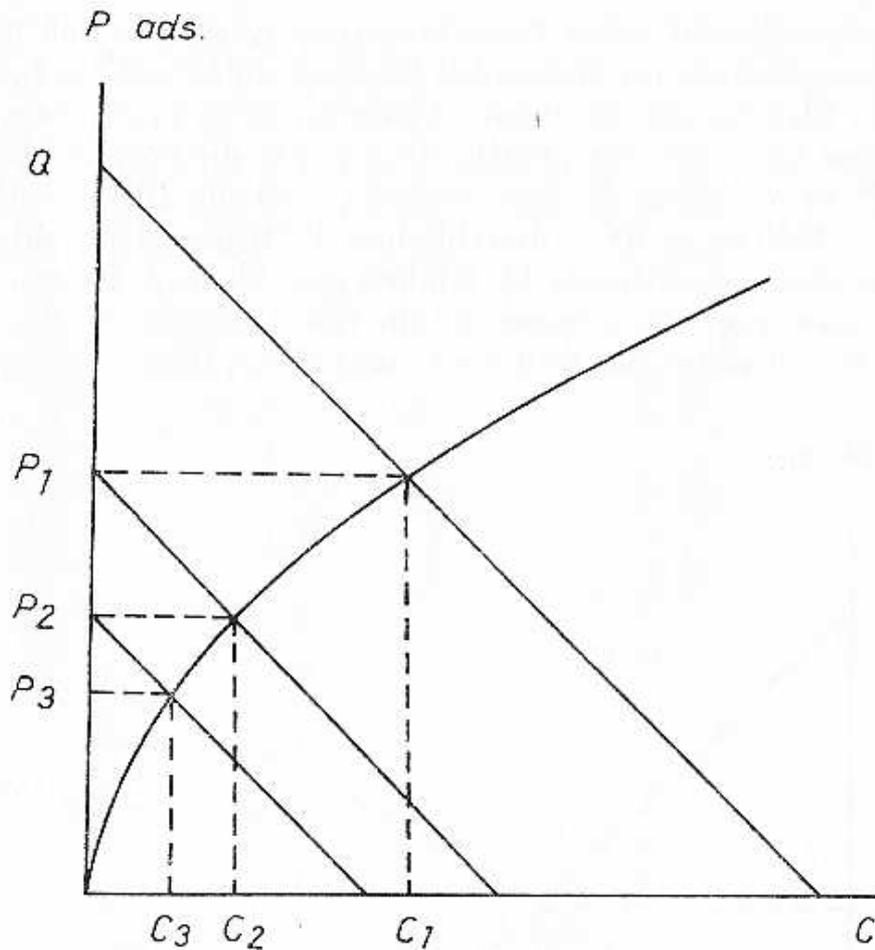


Abb. 3: Modell der mehrstufigen P-Desorption, graphische Darstellung

Auf Grund unserer Berechnungen kann festgestellt werden, daß die Lösung der zur Beschreibung der P-Adsorption dienenden Gleichung der FREUNDLICH-Isotherme wie folgt lautet:

$$x = 7,24 \cdot e^{0,5}$$

Im Falle der die Desorption beschreibenden FREUNDLICH-Isotherme wurde angenommen, daß der Wert des Exponenten auch in diesem Falle 0,5 beträgt. Auch der Koeffizient der die Desorption der maximal desorbierbaren P-Menge (= Q) beschreibenden FREUNDLICH-Funktion gleicht nahezu den Koeffizienten der zur Beschreibung der Adsorption dienenden Funktion (7,30 bzw. 7,24). Dies bedeutet, daß die Adsorption und die Desorption der dem Boden zugefügten Phosphate mit Hilfe derselben Funktion charakterisiert werden können (Abb. 4), wenn bei der Desorption nur die tatsächlich desorbierbare P-Menge in Betracht gezogen wird. Bei der Auflösung des aus zwei Gleichungen bestehenden Systems ergab sich für den Wert von Q 212 µg P je g Boden. Wenn mit diesem Wert gerechnet wurde, konnte im Laufe der Desorption keine Hysterese beobachtet werden. Die Hysterese tritt also nur dann in Erscheinung, wenn bei der Desorption nicht nur die reversibel gebundene und deshalb desorbierbare P-Menge in Betracht gezogen, sondern die gesamte P-Menge in die Berechnung einbezogen wird.

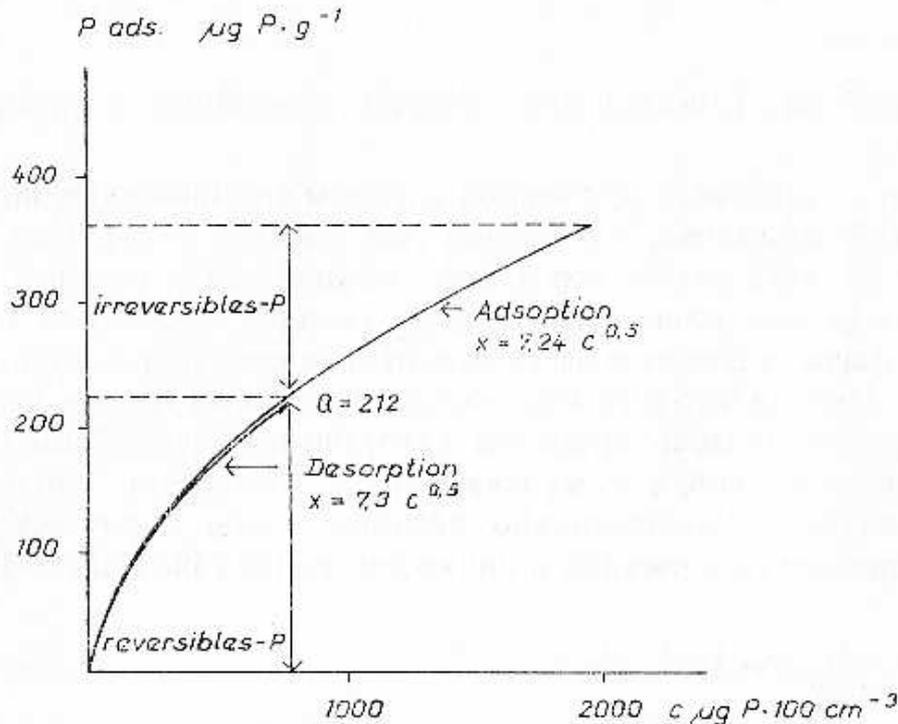


Abb. 4: Gemeinsames Modell der P-Adsorption und P-Desorption. Bodenprobe II.1., graphische Darstellung

#### Zusammenfassung

Mit Hilfe der Bilanzgleichung des Systems Boden — Bodenlösung und der zur Berechnung der Desorption geeigneten FREUNDLICH-Isotherme kann derjenige Anteil der dem Boden zugefügten P-Menge berechnet werden, welcher an der Ausgestaltung des zwischen der festen und der flüssigen Phase (Bodenlösung) des Bodens bestehenden Gleichgewichtes teilnimmt und durch eine mehrfache Extraktion mit Wasser desorbierbar ist ( $= Q$ ). Wenn mit dieser maximal desorbierbaren P-Menge gerechnet wird, können der Adsorptions- sowie der Desorptionsvorgang mit Hilfe derselben Kurve charakterisiert werden, es tritt also keine Hysterese auf. Es kann angenommen werden, daß diese maximal desorbierbare P-Menge als eine entsprechende Indexzahl für den pflanzenverfügbaren P-Gehalt der Böden dienen kann.

#### Summary

Title of the paper: Composite model of P adsorption and desorption in the soil  
The balance equation for the soil-soil solution system and the FREUNDLICH isotherm (for calculation of desorption) were used to calculate the portion of P supplied to the soil, which contributes to balancing the soil liquid and solid phases and which gets desorbed by multiple water extraction. Proceeding from this maximally desorbable P amount ( $= Q$ ) it is possible to characterize adsorption and desorption processes with the help of one and the same curve, i. e. no hysteresis occurs. It is suggested that the maximally desorbable P amount may serve as an index of the plant-available soil P content.

## Резюме

Название работы: Совмещенная модель адсорбции и десорбции Р в почве

Применение балансового уравнения системы «почва-почвенный раствор» и изотермы Фрейндлиха, пригодной для расчета десорбции, позволяет определить ту часть вводимого в почву количества Р, которая принимает участие в создании равновесия между твердой и жидкой (почвенным раствором) фазами почвы и десорбируется за счет повторной экстракции водой ( $=Q$ ). Исходя из этого максимально десорбируемого количества Р, можно охарактеризовать процессы адсорбции и десорбции с помощью одной и той же кривой, т. е. не имеет место гистерезис. Предполагается, что вышеуказанное максимально десорбируемое количество Р может служить индексом содержания в почве доступного растениям Р.

## Literatur

- AL-MAENI, A. M. T.: Parameters influencing the phosphate buffering capacity in calcareous soils. Gödöllő, Agric. Univ., Diss., 1989
- BARROW, N. J.: The description of desorption of phosphate from soil. *J. Soil Sci.* 30(1979), 259–270
- BARROW, N. J.; SHAW, T. C.: The slow reactions between soil and anions: 5. Effects of prior contact on the desorption of phosphate fr. soils. *Soil Sci.* 119(1975), 311–320
- KAFKAFI, U.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P.: Desorption of phosphate from kaolinite. *Soil Sci. Soc. America Proc.* 31(1967), 342–353
- TOLNER, L.; FULEKY, G.: Availability of soil phosphorus by anion exchange resin. *Bull. Univ. Agric. Sci., Gödöllő* (1987), 124–132
- WHITE, R. E.; TAYLOR, A. W.: Reactions of soluble phosphate with acid soils: The interpretation of adsorption-desorption isotherms. *J. Soil. Sci.* 28(1977), 314–328

## Anschrift der Verfasser

Dr. sc. GYÖRGY FULEKY, Dr. LASZLO TOLNER  
Agrarwissenschaftliche Universität zu Gödöllő  
Lehrstuhl für Bodenkunde und Agrochemie  
Páter K. ut. 1.  
H-2103 Gödöllő