

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Kommission V der DBG  
Titel der Tagung: Unsere Böden – Unser Leben  
Veranstalter: DBG  
Termin/Ort der Tagung: 5.-10. September 2015, München  
Berichte der DGB: <http://www.dbges.de>

## **Entwicklung der Böden und deren Kohlenstoffvorräte in brachgelegten Weinbergstandorten auf „Tokajer Großer Berg“, Ungarn**

<sup>1</sup>Novák, T., <sup>2</sup>Spohn, M., <sup>1</sup>Incze, J., <sup>3</sup>Giani, L.

### **Zusammenfassung**

Brachgelegte Weinbergböden geordnet in 2 Sequenzen anhand Exposition und Hangneigung, wurden jeweils mit 6 unterschiedlichen Altersklassen untersucht. Bodenentwicklung, Profilaufbau und Kohlenstoffvorräte sowie Kohlenstoffakkumulierungsraten wurden analysiert. Wir fanden eine signifikante Zunahme der Kohlenstoffvorräte mit steigendem Brachalter, jedoch am Südhang mit höheren ( $18.9 \pm 10.0 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ), und am Südwesthang niedrigeren ( $7.0 \pm 4.2 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ) durchschnittlichen Akkumulierungsraten.

**Organischer Kohlenstoffvorrat, Kohlenstoffakkumulierungsrate, terrassierte Böden, Calcisol, Cambisol**

### **Einleitung**

Die Gesamtfläche der kultivierten Weinberge in Ungarn, ähnlich wie in vielen europäischen Ländern, hat sich während des 20-ten Jahrhunderts deutlich verringert. Als Erstes wurden die hoch gelegenen, steilen, meistens terrassierten Hänge brachgelegt (Novák und Incze 2014, Incze und Novák 2015). Nach der Brachlegung begann eine sekundäre Sukzession, die zu einer Akkumulierung organischen Kohlenstoffs geführt hat.

Obwohl bereits pflanzensoziologische (Sendtko, 1997), Bodennährstoff und -mikrobiologische Forschungen (Spohn et al. 2015) vom Tokajer Großer Berg vorliegen, fehlen bisher detaillierte bodengenetische und bodentaxonomische Forschungen dieser post-agronomischen Böden.

Diese Studie zielte deshalb auf die Untersuchung der Entwicklung der Böden und Vegetation der brachgelegten Weinbergböden, sowie der Dynamik der organischen Kohlenstoffvorräte, und Kohlenstoffakkumulierungsraten in einem chronosequenziellen Ansatz.

### **Material**

Der Zeitpunkt der Brachlegung der ehemaligen kultivierten Flächen wurde mithilfe von historischen, zeitgenössischen Karten und Luftbilder analysiert. Anhand zeitlich aufeinander folgender Karten (1784, 1860, 1887, 1940, 1960, 1989 und 2010) wurden die Zeitfolgen der Brachlegung ermittelt. Folgende Altersklassen wurden beprobt:  $193 \pm 38$ ;  $142 \pm 13$ ;  $101 \pm 28$ ;  $63 \pm 10$ ;  $39 \pm 15$ ;  $14 \pm 11$  Jahre, wobei die erste Ziffer das mittlere Alter der Brache darstellt,  $\pm$  Wert zeigt die maximale Abweichung davon in beide Richtungen.

Wir nahmen an, dass Neigung und Exposition eine bedeutende Rolle in der Sukzession der Vegetation und der Böden einnehmen, deshalb wurden diese auch bei der Auswahl der Probeflächen berücksichtigt. Anhand Hangneigung, Exposition und Brachalter wurden zwei Chronosequenzen festgelegt. Eine mit Hangneigung zwischen 25-35%, auf einem südlichen Hang, die zweite mit Hangneigung von 17-25%, auf einem südwestlichen Hang, jeweils mit sechs Bodenprofilen, die den unterschiedlichen, oben genannten Brachaltern zugehören.

Die Vegetation wurde mit 5x5m Quadraten geprobt, wobei der Gesamtdeckungsgrad in folgenden Klassen differenziert wurde: 1 = 1-5%, 2 = 5-25%, 3 = 25-50%, 4 = 50-75% 5 = 75-100%.

12 Bodenprofile wurden anhand der WRB Richtlinien (IUSS Arbeitsgruppe WRB 2007) beschrieben, klassifiziert und beprobt. Als Referenzfläche diente eine rezent kultivierte Weinfläche.

### **Methoden**

Masseproben wurden für die Laboruntersuchungen aus jeden Horizonten genommen, und für die Bestimmung der Lagerungsdichte der Horizonte wurden ungestörte Bodenproben in  $100 \text{ cm}^3$  Stahlzylinders genommen.

<sup>1</sup> Universität Debrecen, H-4032 Debrecen, Ungarn;

<sup>2</sup> Universität Bayreuth, BY

<sup>3</sup> Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, NDS

Die Feinerde wurde von Skelettteilen (> 2 mm) durch Trockensiebung getrennt. Die Korngrößenverteilung der Feinerde wurde durch Nasssiebung (2 bis 0,2 mm) und mit der Pipettmethode (<0,2 mm) bestimmt. Für die Bestimmung der Lagerungsdichte der Bodenproben wurde bei 105 ° C getrocknet, die anderen Proben für 3 Tage bei 40 ° C. Die pH-Werte (H<sub>2</sub>O, KCl) wurden mit Standard-Glaselektrode in einer 1: 2,5 Suspension gemessen. Die CaCO<sub>3</sub>-Gehalte wurden mit Scheibler-Calcimeter bestimmt. Der organische Kohlenstoff wurde durch Oxidation und Titrimetrie bestimmt, wobei für die Oxidation K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> und für Titrimetrie Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> verwendet wurde.

Anhand der Lagerungsdichte, der Skelettgehalte und Konzentration organischen Kohlenstoffs wurden die Kohlenstoffvorräte (mg · ha<sup>-1</sup>) für die obere 6 cm Bodenschicht kalkuliert (GOK<sub>0-6</sub> Vorräte). 6 cm war die Mindesttiefe der humusreichen Oberböden. Gleichzeitig wurden die Kohlenstoffvorräte für die Gesamttiefe der Bodenprofile errechnet (GOK<sub>p</sub> Vorräte), beides nach den folgenden Formeln:

$$\text{GOK}_{0-6} \text{ Vorrat} = \text{GOK}_{0-6} \cdot \text{SD}_{0-6} \cdot T_{0-6} \left( 1 - \frac{\text{GF}_{i0-6}}{100} \right)$$

$$\text{GOK}_p \text{ Vorrat} = \sum_{i=0}^n \text{GOK}_i \cdot \text{SD}_i \cdot T_i \left( 1 - \frac{\text{GF}_i}{100} \right)$$

wo GOK<sub>0-6</sub> der Vorrat des gesamten organischen Kohlenstoffs in der oberen 6 cm Bodens (kg · m<sup>-2</sup>) entspricht; GOK<sub>p</sub> der Vorrat des organischen Kohlenstoff im Gesamtprofil (kg · m<sup>-2</sup>); GOK<sub>i</sub> der Vorrat organischen Kohlenstoffs in eine i cm mächtige Bodenschicht (kg · m<sup>-2</sup>); die SD<sub>0-6</sub> Lagerungsdichte des Bodens in 0-6 cm Tiefe (Mg · m<sup>-3</sup>); SD<sub>i</sub> Lagerungsdichte des bestimmten Boden in i Schicht (Mg · m<sup>-3</sup>); T<sub>i</sub> Mächtigkeit der i Bodenschichten (m) und GF<sub>i</sub> der Anteil der Skelettfraktion (>2 mm) in der i mächtigen Bodenschicht (%).

Für jedes Bodenprofil wurden die Kohlenstoffakkumulierungsraten in der obersten 6 cm mächtigen Bodenschicht wie folgt bestimmt:

$$r_{i,0-6} = \frac{\text{GOK}_{i,0-6} \text{ Vorrat} - \text{GOK}_{0,0-6}}{V_i}$$

wo r<sub>i,0-6</sub> die Akkumulierungsrate des organischen Kohlenstoffs in der obersten 0-6 cm Schicht im i Profil ist (g m<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>); GOK<sub>i,0-6</sub> der gesamte organische Kohlenstoffvorrat in der 0-6 cm Bodenschicht (g m<sup>-2</sup>) im i Bodenprofil ist; GOK<sub>0,0-6</sub> der gesamte organische Kohlenstoffvorrat in der 0-6 cm Bodenschicht (g m<sup>-2</sup>) im Referenz (aktuell kultiviertes) Bodenprofil ist und V<sub>i</sub> die Anzahl der Jahren seit der Brachlegung.

Zur statistischen Auswertung wurden der Spearman-Korrelation-Zweistichproben-Test, Wilcoxon und Mann-Whitney Test angewendet.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Vegetationsaufnahmen zeigten, dass nur die ältesten Brachen sich zu geschlossenen Waldbestände entwickeln können, in jüngeren Klassen sind meistens nur Gebüsche und Hangsteppen zu finden.

Da die brachgelegten Flächen allerdings später unterschiedlichen Unterhaltungs- und Nutzungsmaßnahmen ausgesetzt wurden, kann keinesfalls behauptet werden, dass die Unterschiede in der Vegetationsentwicklung ausschließlich als Ergebnisse der sekundären Sukzession entstanden sind. Aus naturschutzfachlicher Sicht erwiesen sich die Standorte am Südhang als eindeutig wertvollere, mit vielen seltenen und geschützten Pflanzenarten ausgestattete Bereiche aus.

Als Ausgangsgestein wurde am Südwesthang Löss und umgelagerter Löss gefunden, jedoch im steileren Südhang liegen vulkanische Gesteine und ihre Verwitterungsprodukte sehr nah darunter vor. Infolgedessen weisen die Profile S1, S2, S3, S4, S5 eine lithologische Diskontinuität auf, was auch für einen Texturwechsel innerhalb der Profile verantwortlich ist.

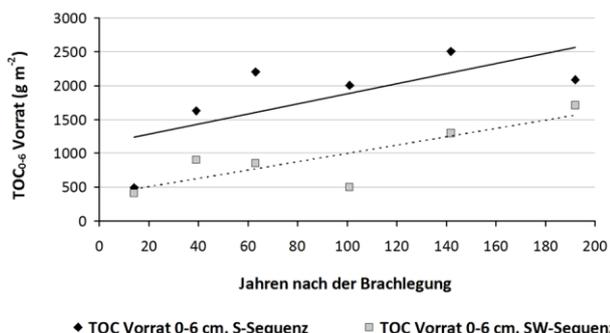
Obwohl die Textur der Feinerde überall ähnlich ist und aus schluffigem Lehm besteht, besitzen die verwitterten vulkanischen Gesteine einen geringeren Schluff- (60.7 ± 6.5%) und höheren Sand- (28.4 ± 6.9%) und Tonanteil (10.9 ± 3.7%). Darüber hinaus war der Skelettanteil

deutlich höher, und sie wiesen höhere  $\text{CaCO}_3$  Anteile, sowie einen rötlicheren Farbton (7,5 YR), als Profile auf reinem Löss und umgelagertes Löss.

In Profilen mit derartiger lithologischer Diskontinuität sind häufig Kalkkonkretionen zu finden, was auf erstem Blick den kalkfreien vulkanischen Grundgesteins widerspricht. Wir nehmen an, dass auch diese Flächen früher mit deutlich mächtigeren Lössschichten bedeckt waren. Durch Kalklösung und Transport der Lösungsprodukte in die Tiefe sowie Wiederausfällung kam es zu den beschriebenen Konkretionen, die durch spätere Erosion in oberflächennahe Position gelangten. Die pH Werte des Oberbodens zeigten signifikante negative Korrelation mit der Brachalter (Spearman  $r = -0.89$  ( $p = 0.01$ ) auf Südhang, und  $r = -0.74$  ( $p = 0.05$ ) auf Südwesthang).

Wie auch in ähnlichen Studien (Boix-Fayos et al., 2009; McLauchlan et al., 2006, Novák et al. 2014), wurde hier signifikante positive Korrelation zwischen  $\text{GOK}_{0-6}$  Vorräte und der Zeit seit Brachlegung in beiden Sequenzen – obwohl im Südhang mit höheren Werten – gefunden (Abb. 1.).

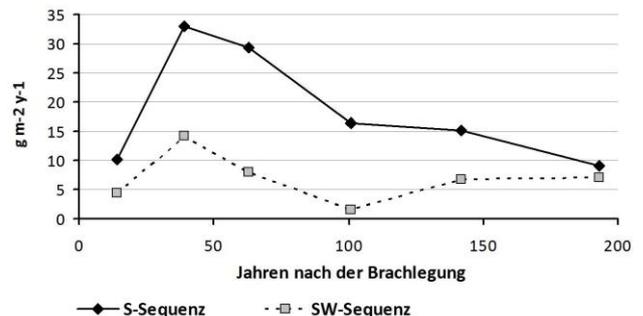
Im Durchschnitt erwiesen sich Vorräte  $\text{GOK}_{0-6}$  im Südhang höher ( $1.82 \pm 0.71 \text{ kg m}^{-2}$ ) als im Südwesthang ( $0.95 \pm 0.49 \text{ kg m}^{-2}$ ). Der Unterschied ist wahrscheinlich mit der höheren Einstrahlung, und dadurch verursachten trockneren Verhältnissen und niedrigeren mikrobiellen Aktivitäten zu erklären.



**Abb. 1:** TOC-Vorräte im Oberboden von 0-6 cm in Süd- und Südwestsequenzen.

Die Akkumulierungsraten berechnet für die obersten 6 cm mächtigen Bodenschichten erwiesen sich deutlich verschieden, einerseits anhand der Hangexposition und Neigung, andererseits anhand des Alters der

Brachlegung (Abb. 2.). Im Durchschnitt wurde für den Südhang eine Akkumulierungsrate von  $r_{i,0-6} 18.9 \pm 10.0 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  und für die Südwesthang  $7.0 \pm 4.2 \text{ g m}^{-2} \text{ y}^{-1}$  gefunden, wobei die Unterschiede zwischen den Raten sich signifikant unterschieden (Mann–Whitney U:  $p = 0.01$ ). Die unterschiedlichen Akkumulierungsraten zeigen, dass am Anfang der sekundären Sukzession die Akkumulation zunächst recht gering war, und nach einigen Dekaden deutlich zunahm.



**Abb. 2:** TOC-Akkumulierungsraten im Oberboden von 0-6 cm in Süd- und Südwestsequenzen.

Die S3, S4, S5, SW11 Profile befinden sich auf ehemals terrassierten Flächen, wo die Terrassen teilweise auch bis heute noch erhalten geblieben sind. Auf diesen Flächen waren die  $r_{i,0-6}$  Kohlenstoffakkumulierungsraten signifikant (Mann–Whitney U:  $p = 0.01$ ) ( $23.2 \pm 9.3 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ) größer als in den übrigen Profilen ( $7.8 \pm 4.0 \text{ g m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ ). Da die Terrassen nicht nur die Mineralböden halten, sondern auch gute Streufallen darstellen, ist die verstärkte C-Akkumulation darauf zurückzuführen.

Die  $\text{GOK}_p$  Vorräte erwiesen sich ähnlich in beiden Sequenzen:  $8.21 \pm 3.31 \text{ kg m}^{-2}$  in Süd- und  $8.25 \pm 6.01 \text{ kg m}^{-2}$  im Südwesthang. Zwischen den gesamten Kohlenstoffvorrat im ganzen Profil  $\text{GOK}_p$  und der Alter der Brachlegung wurden keine signifikanten Zusammenhänge gefunden.

Hauptsächlich aufgrund der unterschiedlichen lithologische Konfiguration des Ausgangsgesteins wurden die Profile nach der Klassifizierung in recht unterschiedlichen Referenzgruppen gruppiert. Am häufigsten wurden am Südhang Calcisole (S1, S3, S4, S5), und am Südwesthang Cambisole (SW8, SW9, SW11) gefunden. Die jüngsten brachgelegten Flächen (S6, SW12). wurden

in beiden Sequenzen als Regosole eingestuft. Darüber hinaus wurde am Südhang ein Leptosol (S2), und am Südwesthang ein Chernozem (SW7) und ein Phaeozem (SW10) beschrieben (Tab. 1.).

Eindeutige Merkmale der ehemaligen Bodenkultivierung durch Rigolen konnten lediglich in den jüngsten Brachen (S6, SW12) und im Fall des SW10 Profils nachgewiesen werden.

### Schlussfolgerung

Unsere Studie zeigt, dass neben der Zeit, die zur postagrarischen Entwicklung der Böden zur Verfügung steht, die Hangneigung und Exposition, sowie auch die lithologische Konfiguration eine bedeutende Rolle spielen. Dabei fanden wir in allen Brachalterklassen größere Kohlenstoffakkumulierungsraten auf dem Südhang, als auf dem Südwesthang. Die Hangneigung hat einen direkten – durch Förderung der Akkumulierung organischen Materials – und einen indirekten Einfluss, durch starke Erosion verändernde Lithologie.

Mit Ausnahme des rezenten Weinbergsbodens konnten morphologisch keine Spuren ehemaligen Rigolens gefunden werden. An vielen Standorten konnten wir feststellen, dass die ehemals als Weinberg benutzten Flächen in wertvolle Habitate der naturnahen Vegetation und für

Kohlenstoffspeicher umgewandelt wurden, wobei sich ebenfalls die Bedeutung der Bodenfunktionen deutlich geändert hat.

### Literatur

- Boix-Fayos, C., de Vente, J., Albaladejo, J., Martínez-Mena, M., 2009. Soil carbon erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in Mediterranean ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 133, 75–85.
- Incze, J., Novák, T. J., (2015) Identification of extension, topographic characteristics and land abandonment process of vineyard terraces in Tokaj-Hegyalja wine region between 1784 and 2010, *Journal of Maps* (accepted for publication)
- IUSS Working Group WRB, 2007. World reference base for soil resources 2006. First update 2007. *World Soil Resources Reports No. 103*. FAO, Rome, p. 128.
- McLaughlan, K.K., Hobbie, S.E., Post, W., 2006. Conversion from agriculture to grassland builds soil organic matter on decadal time scales. *Ecol. Appl.* 16 (1), 143–153.
- Novák, T. J., Incze J. 2014. Retaining walls of abandoned vineyard terraces on Tokaj Nagy Hill, *4D Journal of Landscape Architecture And Garden Art*, Volume 35, 20-35
- Novák T. J., Incze, J., Spohn, M., Glina, B., Giani, L. (2014): Soil and vegetation transformation in abandoned vineyards of the Tokaj Nagy-Hill. *Catena* 123: 88-89. (DOI: 10.1016/j.catena.2014.07.017)
- Sendtko, A., 1997. Die Xerothermvegetation brachgefallener Rebflächen im Raum Tokaj (Nordost-Ungarn)—pflanzensoziologische und populationsbiologische Untersuchungen zur Sukzession Erlangung der Doktorwürde der Fakultät für Biologie der Albert-Ludwigs- Universität Freiburg i.Br. p. 482.
- Spohn, M., Novák, T.J., Incze, J., Giani, L. 2015. Dynamics of soil carbon, nitrogen, and phosphorus in calcareous soils after land-use abandonment – A chronosequence study. *Plant and Soil*. 39x: xx-xx. (DOI 10.1007/s11104-015-2513-6)

**Tab. 1:** Lithologische Konfiguration, Horizontsequenz und WRB Klassifizierung der Profile des S und SW Chronosequenzen.

Profil No.	Jahren seit der Brachlegung	Ausgangsgestein*	Horizontsequenz	Prefix qualifiers	Referenzgruppe
				anhand WRB (2007)	
S1	193±38	Qph-dL / Qph-M-pd	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - AC <sub>k</sub> - 2C <sub>k</sub> - 2C/R	Hypocalcic – Endoleptic	Calcisol
S2	142±13	Qph-M-pd	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - R	Mollic	Leptosol
S3	101±28	Qph-dL / Qph-M-pd	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - C - 2C <sub>k</sub> - 2R	Endoleptic	Calcisol
S4	63±10	Qph-dL / Qph-M-pd	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - C <sub>k1</sub> - 2C <sub>k2</sub> - 3C <sub>k3</sub> - 3R	Endoleptic	Calcisol
S5	39±15	Qph-dL / Qph-M-pd	O <sub>1</sub> - A <sub>hk</sub> - AC <sub>k</sub> - 2C <sub>k</sub> - 2R	Hypocalcic – Endoleptic	Calcisol
S6	14±11	Qp-L	O <sub>1</sub> - C <sub>1</sub> - C <sub>2</sub>	Haplic	Regosol
SW7	193±38	Qp-L	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - B - C <sub>k</sub>	Calcic	Chernozem
SW8	142±13	Qp-L	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - B <sub>w</sub> - C	Haplic	Cambisol
SW9	101±28	Qph-dL / Qp-L	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - C	Haplic	Cambisol
SW10	63±10	Qph-dL / Qp-L	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - AC - C	Haplic	Phaeozem
SW11	39±15	Qph-dL / Qp-L	O <sub>1</sub> - A <sub>h</sub> - C	Haplic	Cambisol
SW12	14±11	Qp-L	O <sub>1</sub> - C <sub>1</sub> - C <sub>2</sub>	Haplic	Regosol

\*Grundgestein: Qph-dL=Pleistozän-Holozän Schluff, umgelagertes Loess; Qp-L=Pleistozäne Loess; Qph-M-pd= Pleistozän-Holozän verwitterungsprodukte aus Miozän Pyroxene-Dazit (Lehm, Steinschutt)