

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

## Chronosequenzielle Veränderungen post-agrarischer Böden in verschiedenen Klimazonen Russlands.

<sup>1</sup>Kalinina, O., <sup>2</sup>Goryachkin, S.V., <sup>2</sup>Lyuri, D.I., <sup>1</sup>Giani, L.

### Zusammenfassung

Chronosequenzielle Veränderungen der Vegetation und Böden wurden in der Taiga (Podzole und Albeluvisole), in der semihumiden Steppe (Chernozeme) und in der semiariden Steppe (Solonetze und Calcisole) untersucht. Die Pflanzensukzession entwickelte sich in Richtung ihrer jeweiligen Klimax-Stadien. Die Böden, die vor Beginn der Selbstrestaurierung unabhängig von Klima- und Bodenzone ähnliche Eigenschaften zeigten, entwickelte sich in Richtung natürlicher Ausprägung. Als Resultat stieg die Pedodiversität. Selbstrestaurierung führte zur Zunahme der Kohlenstoffvorräte (C) in Richtung Wiederherstellung der natürlichen C-Vorräten in der Taiga nach ca. 150 Jahren (wie Vegetationssukzession), in der Steppe nach ca. 100 Jahren (langsamer als Vegetationssukzession). Die Zunahme des Gesamt-C verlief in signifikant positiven Korrelation mit der C-Akkumulation in aktiven (freie partikuläre organisches Material (POM); POM in Aggregaten; C in Sand, grob/mittel Schlufffraktion) und passiven (C in Feinschluff- und Tonfraktion) C-Pools ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Während der chronosequenziellen Zeiträume (42 – 170 Jahre) war eine komplette Restaurierung aller Eigenschaften meistens nicht erreicht, was darauf hindeutet, dass Selbstrestaurierung sehr langwierig ist.

**Selbstrestaurierung, Podzol-, Albeluvisol-, Chernozem-, Calcisol-, Solonetz- Chronosequenzen, C-Vorräte, C-Pools**

<sup>1</sup>CvO Universität Oldenburg, PF 2503, 26111 Oldenburg, Deutschland; <sup>2</sup>Institut für Geographie, Russlands Akademie der Wissenschaft, Moskau, Russland

## Einleitung

Bis vor kurzem war die Ackernutzung in vielen Ländern im Rückgang begriffen. Im Zeitraum von 1961-2003 betrug die aufgegebenen Ackerflächen in der Welt 2.197.000  $\text{km}^2$  (Ramankutty, 2006; Lyuri et al, 2010; <http://faostat.fao.org>). 25% davon sind in Russland (Lyuri et al, 2010). Viele Ackerstandorte werden ungenutzt oder sie werden dem Prozess der Selbstrestaurierung überlassen, d.h. aufgelassene Ackerfläche gehen in die natürliche Sukzession, und die Böden entwickeln sich in Richtung ihrer natürlichen Ausprägung. Im Focus dieses Forschungsprojekts stehen die chronosequenziellen Veränderungen der Vegetation und Bodeneigenschaften (Bodenmorphologie, Bodenchemie, OC-Vorräte des organischen C (OC) und OC-Sequestration in aktiven und passiven C-Pools) bei bekannter Dauer der post-agrarischen Phase in der Taiga (Podzole und Albeluvisole), in der semihumiden Steppe (Chernozeme) und in der semiariden Steppe (Solonetze und Calcisole).

## Material

Fünf Chronosequenzen wurden im europäischen Teil Russlands untersucht. Die Angaben zu Chronosequenzen sind in Tabelle 1. Als Kontrolle wurden Standorte ohne Ackernutzung einbezogen. Der Ackerbau in der semiariden Steppe war ohne Bewässerung. Post-agrarischen Flächen werden weiter als extensive Weide genutzt.

**Tab. 1:** Bodentypen, Lage, Klimaparameter und Alter der untersuchten Chronosequenzen.

Zone	Bodentyp	Koordinate		Klima	Post-agrarische	
		N	E			
				Jahresmitteltemperatur C°	Jahresmittel Niederschläge / Evaporation mm	Phasen der Standorten in der Chronosequenz Jahre
Taiga	Podzols	58°04'	33°19'	+ 3.2	714/ 550	3, 19, 55, 100, 170
	Albeluvisols	59°13'	50°26'	+ 1.0	550/ 450	4, 12, 17, 68
Semihumide Steppe	Chernozems	51°34'	36°05'	+ 5.7	350 - 570/ 600 - 800	8, 19, 37, 59
Semiaride Steppe	Calcisols	48°05'	45°55'	+ 7.8	250 - 300/ 1026	1, 7, 12, 17, 42
	Solonetz					1, 7, 12, 42

## Methoden

Die bodenkundliche Standard-Analytik wurde nach Schlichting et. al. (1995) durchgeführt. Der C-N-Gehalte wurden mittels C/N/S Analysator (CHNS-Analyser Flash EA) bestimmt. Fraktionen der aktiven und passiven OC-Pools wurde mittels Dichtefraktionierung nach Steffens et al., (2009) isoliert.

## Ergebnisse und Diskussion

Die Pflanzensukzession entwickelte sich in Richtung Klimax – Stadium (Tab. 2). Klimaxvegetation der Taiga, Fichtenwald, wurde in der Podzol-Chronosequenz im Standort 170 Jahren gefunden. In Steppengebieten wurden die Hauptarten des Klimaxstadium schon nach 40 – 60 Jahren festgestellt. Entsprechend Tishkov (2005) ist diese Zeit ausreichend, um das Klimaxstadium in Steppengebieten zu erreichen. Die Vielfalt des Klimaxstadiums war aufgrund extensiver Ackernutzung oder Beweidung allerdings nicht erreicht.

**Tab. 2:** Vegetation am Ende der Chronosequenzen und Vegetation des Klimaxstadiums.

Boden-Typen / Restaurierungszeit (Jahre)			
Podzol / 170 Jahre	Albelvisol / 68 Jahre	Chernozem / 59 Jahre	Calcisol - Solonetz / 42 Jahre
<b>Vegetation am Ende der Chronosequenz</b>			
<b>Fichtenwald</b> Zwergsträucher und Moos	<b>Birken-Fichtenwald</b> Krautschicht	Semihumide Steppenvegetation mit Dominanz von <i>Stipa pennata</i> und <i>Arrhenatherum elatius</i>	Semiaride Steppenvegetation mit Dominanz von <i>Poa bulbosa</i> und <i>Artemisia sp.</i>
<b>Klimax-Vegetation</b>			
<b>Fichtenwald</b> Zwergsträucher und Moos	<b>Fichtenwald</b> Krautschicht	Dominanz von <i>Stipa pennata</i> und <i>Arrhenatherum elatius</i>	Dominanz von <i>Poa bulbosa</i> und <i>Artemisia sp.</i>

Während der Selbstrestaurierung kam es zum Aufbau vertikaler Stratifizierung im homogenen Ap-Horizont (Tab. 3). In Podzolen bildeten sich rohumusartige Auflagenhorizonte und Eluvialliluvialhorizonte. In Albelvisolen wurden moderartige Auflagenhorizonte und Ah-Horizonte gebildet. In Steppengebieten entwickelten sich stark durchwurzelte Ah-Horizonte unter Steppenfilz. Das stark blockige Gefüge der Ackerböden wurde schnell aufgelöst und es kam zur Ausbildung natürliches Bodengefüge. Mit Ausnahme von Chernozemen blieb die Pflugsohle während der chronosequentiellen Zeiträume (42 – 170 Jahre) gut erhalten.

In der Taiga wurde eine zunehmende Podsolierung in Form von pH-Abnahmen, Abnahmen der Basensättigung festgestellt (Tab. 3). Solonetz Böden zeigten eine Tendenz zur pH-Abnahme. Die Entwicklung einer vertikalen Stratifizierung in Ap-Horizonten und die Wiederherstellung der natürlichen Eigenschaften zeigte eine Bodenentwicklung in Richtung der natürlichen Ausprägung. Die post-agrarische Rückentwicklung war deutlicher, wenn die

Böden durch die Ackernutzung stärker geändert waren.

Selbstrestaurierung führte zur Wiederherstellung der natürlichen OC-Vorräte und hatte eine Zunahme der OC-Vorräte zur Folge. Die OC-Vorräte von Podzolen stiegen von 4.9 bis 6.9 kg m<sup>-2</sup> im Oberboden von 0 - 0.2 m (Abb. 1). C akkumulierte sich in Form von den rohumusartigen Auflagehorizonten. OC-Akkumulation in den Auflagehorizonten kompensierte OC-Verluste im mineralischen Oberboden. Die OC-Vorräte von post-agrarischen Albelvisolen stiegen von 2.2 bis 4.4 kg m<sup>-2</sup> im Oberboden von 0 – 0.2 m. C-Sequestrierung fand nicht nur im Auflagehorizont sondern auch im neu gebildeten Ah-Horizont statt. Der C-Ausgleich wurde nur in der Podzol-Chronosequenz nach 170 Jahren nachgewiesen. Die Zeit zum C-Ausgleich entspricht der Dauer der Pflanzensukzession in der Taiga. In Steppengebieten stiegen die OC-Vorräte im Oberboden (0-0.2 m). Post-agrarische Chernozeme zeigten OC-Akkumulation von 7.3 auf 9.1 kg m<sup>-2</sup> (78% des natürlichen Bodens). Die OC-Vorräte von Calcisole nahmen von 0.9 auf 1.3 kg m<sup>-2</sup> (42% des natürlichen Boden) zu. In der Solonetz-Chronosequenz stiegen die OC-Vorräte von 0.9 auf 1.6 kg m<sup>-2</sup> (85% des natürlichen Bodens). Modellierung der C-Akkumulation für Steppengebieten ergab eine Zeit von über 100 Jahren zum C-Ausgleich (Daten sind nicht dargestellt), also wesentlich länger als die Pflanzensukzession.

C-Fractionen (freies partikulares organisches Material (POM), POM in Aggregaten, grob/mittel Schluff, fein Schluff und Ton) zeigten eine signifikant positive Korrelation zum Gesamt-C (Tab. 4). Die Veränderungen der prozentuellen C-Anteile zeigten die Intensität der OC-Anreicherung in Fraktionen in Relation zur Akkumulation des Gesamt-C (Tab.5). Die relativen C-Anteile der Korngrößenfraktionen blieben unverändert. Eine relative Zunahme war für die Fraktion „freie POM“ festgestellt, die durch den gestiegenen Input von Pflanzenresten zu erklären ist. Der relative Anteil „POM in Aggregaten“ nahm tendenziell ab. Eine relative Abnahme von 53 auf 33% wurde für Solonetz festgestellt,

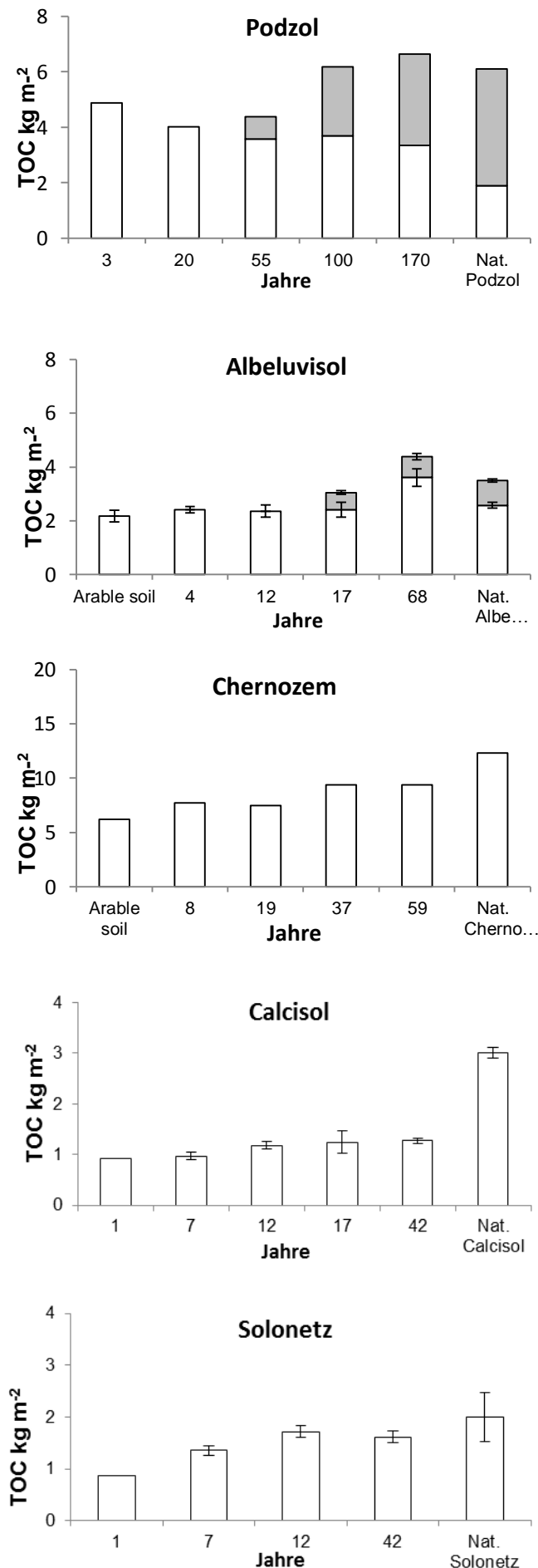


Abb. 1: C-Vorräte im Auflagehorizont (■) und mineralischen Oberboden von 0-0.2 m (□).

was mit der Bildung des natürlichen Plattengefüges und Abnahme der wasserstabilen Aggregate während Selbstrestaurierung einherging.

### Schlussfolgerung

Die Pflanzensukzession entwickelte sich in Richtung ihrer jeweiligen Klimax-Stadien. Die Entwicklung post-agrarischer Böden, die vor Beginn der Selbstrestaurierung unabhängig von Klima- und Bodenzone ähnliche Eigenschaften zeigten, verlief in Richtung natürlicher Ausprägung. Als Resultat trat ein großes Klima- und Bodenzone spezifisches Spektrum an Bodeneigenschaften auf, so dass festgestellt werden kann, dass Selbstrestaurierung zur Steigerung der Pedodiversität führt.

Selbstrestaurierung hatte eine Zunahme der OC-Vorräte zur Folge. Die C-Sequestrierung in den aktiven (freie partikuläre organisches Material (POM); POM in Aggregaten; C in Sand, grob/mittel Schlufffraktion) und passiven C-Pools (C in Feinschluff- und Tonfraktion) entwickelte sich signifikant positiv mit der Zunahme der OC-Vorräte.

Die OC-Vorräte und Pflanzensukzession in der Taiga glichen sich nach 150 Jahren den natürlichen Verhältnissen an. In Steppengebieten dauerte der Prozess für die OC-Vorräte 100 Jahre und war länger als die Pflanzensukzession. Mit Ausnahme von Chernozemen waren Spuren der Ackernutzung in Form von Pflugsohlen während des chronosequenziellen Zeitraums (42 – 170 Jahren) sichtbar. Obwohl Selbstrestaurierung in Richtung natürlicher Ausprägung verläuft, war eine komplette Restaurierung aller Eigenschaften meistens nicht erreicht, was darauf hindeutet, dass Selbstrestaurierung langwierig ist.

### Literature

- <http://faostat.fao.org>  
 IUSS Working Group WRB 2006. WRB 2006. World Soil Res. Repts. 103. FAO, Rome, pp. 1–128.  
 Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G., 2010. Dynamics of agricultural lands of Russia in XX century and postagrogenic restoration of vegetation and soils. Geos, Moscow. 420 p. (in Russian)  
 Ramankutty, N., 2006. Global land-cover change: Recent progress, remaining challenges. In: E.F Lambin and H.J. Geist (Ed.) Land-use and land-cover change. Springer. Berlin, pp. 9-41.  
 Schlichting, E., Blume, H.P., Stahr, K., 1995. Bodenkundliches Praktikum. Pareys Studentexte, vol. 81. Blackwell, Berlin.

Steffens, M., Kölbl, A., Kögel-Knabner, I., 2009. Alteration of soil organic matter pools and aggregations in semiarid steppe topsoils as driven by OM input. *European Journal of Soil Science*. 60(2), 198–212.

Tishkov, A., 2005. Fires in Steppes and Savannas. Ed.: Vladimir M. Kotlyakov (Eds.), *Encyclopedia of Life Support Systems*. Institute of Geography, Russian

Academy of Sciences, Russia  
[http://www.eolss.net/eolss\\_booklet.aspx](http://www.eolss.net/eolss_booklet.aspx)

**Die Projekte wurden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (G-I 171/20-1-2).**

**Tab. 3:** Entwicklung der morphologischen und chemischen Bodeneigenschaften.

Eigenschaften	Boden-Typen / Restaurierungszeit (Jahre)				
	Podzol / 170 Jahre	Albeluvisol / 68 Jahre	Chernozem / 19 Jahre	Calcisol / 42 Jahre	Solonetz / 42 Jahre
Entwicklung der organischen Horizonten	6 cm - Rohhumus	3 cm - Moder	5 cm - Steppenfilz	nf	nf
Entwicklung der neuen Horizonten innerhalb des Ap-Horizontes	E / Bsh*	Ah*	Ah*	Ah*	Ah*
Anwesenheit des Ap-Horizontes	170 Jahre der Chronosequenz	68 Jahre der Chronosequenz	bis 19 Jahren der Selbstrestaurierung	42 Jahre der Chronosequenz	42 Jahre der Chronosequenz
Entwicklung des Gefüges innerhalb des Ap-Horizontes	Einzelkorngefüge*	Klumpengefüge → Krümelgefüge (Ah) und Subpolyedergefüge (fossiler Ap)	Klumpengefüge → Krümelgefüge	Klumpengefüge → Subpolyeder-Polyedergefüge	Klumpengefüge → Plattengefüge (Ah) und Polyeder-Prismengefüge (fossiler Ap)
Veränderung von pH(CaCl <sub>2</sub> )	5.7-6.6 → 3.1-3.9**	5.6-5.7 → 3.8-4.2**	5.4-6.0**	6.0-6.5**	6.8-7.0 → 6.0-6.4**
Veränderung der Basensättigung, %	54 → 3**	100 → 18-39**	50-70**	80-90**	80-90**

\*\* Mittelwerte für Oberboden (Ap+Ah); \* Horizonten Bezeichnung nach WRB (2006); nf - nicht gefunden

**Tab. 4:** Korrelationen zwischen C-Fractionen und Gesamt-C (g kg<sup>-1</sup>) in untersuchten Chronosequenzen.

Chronosequenzen	Fraktionen					
	Dichtefraktion >1.8 g cm <sup>-3</sup>		Dichtefraktion < 1.8 g cm <sup>-3</sup>			
	Freie POM	POM in Aggregaten	Ton <2 µm	Schluff 6.3 - 2 µm	Schluff 63 - 6.3 µm	Sand 63 - 2000 µm
Podzol	0.944**	nd	0.897 <sup>b*</sup>	nb	nb	nb
Albeluvisol	0.951**	0.968**	0.853**	0.737**	0.755**	0.686**
Chernozem	0.868*	0.944**	0.830*	0.958**	0.716*	0.836*
Calcisol	0.925**	0.988**	0.915**	0.951**	nf	nf
Solonetz	0.947**	0.655*	0.655*	0.761*	nf	nf

\*\* P < 0.01; \* P < 0.05; b Angaben für die KorngröÙfraktion <20 µm

**Tab. 5:** Veränderung der C-Fractionen (% von TOC) in Chronosequenzen.

Fraktionen		Chronosequenzen				
		Podzol	Albeluvisol	Chernozem	Calcisol	Solonetz
Dichtefraktion <1.8 g cm <sup>-3</sup>	Freie POM	56 → 71	8 → 33	3 → 10	17 → 14	6 → 29
	POM in Aggregaten	nd	46 → 31	17 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>	54 → 33
Dichtefraktion >1.8 g cm <sup>-3</sup>	Sand 63 - 2000 µm	nd	3 <sup>a</sup>	<1 <sup>a</sup>	nf	nf
	Grob/mittel Schluff 63 - 6.3 µm	nd	5 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>
	Feineschluff 6.3 - 2 µm	nd	7 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
	Ton <2 µm	25 <sup>ab</sup>	30 <sup>a</sup>	37 <sup>a</sup>	43 <sup>a</sup>	38 <sup>a</sup>

a – konstant während der chronosequenziellen Zeiträume; b - Angaben für die KorngröÙfraktion <20 µm; nf – nicht gefunden; nd – Fraktion ist nicht bestimmt