

Tagungsbeitrag zu: Sitzung der Kommission V der DBG  
 Titel der Tagung: Böden - eine endliche Ressource  
 Veranstalter: DBG  
 Termin/Ort der Tagung: 5.-13.9.2009, Bonn  
 Berichte der DGB: <http://www.dbges.de>

## Chronosequenzielle C-Dynamik sich selbst-restaurierender, post-agrarischer Böden verschiedener Klima- und Bodenzonen Russlands.

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

### C-Dynamik, Selbst-Restaurierung, Podsol-, Tschernozem-Chronosequenz

#### Einleitung

In vielen Ländern ist die Ackernutzung im Rückgang begriffen (Ramankutty, 2006; Lyuri et al., 2006; 2008). Die aufgelassenen landwirtschaftlichen Flächen betragen in Russland mit dem politischen Umbruch Anfang der 90er Jahre über 200000 km<sup>2</sup> (Vuichard et al., 2008) und 578000 km<sup>2</sup> in 1961-2007 (Lyuri et al., 2008). Mehr als 50% der Flächenaufgabe geschah im Russland aufgrund der ökonomischen Krise. Viele Ackerstandorte werden umgenutzt oder sie werden sich dem Prozess der Selbst-Restaurierung überlassen, d.h. aufgelassene Ackerfläche gehen in die natürliche Sukzession, und die Böden entwickeln sich in Richtung ihrer natürlichen Ausprägung. Im Focus der Forschung ist die Dynamik verschiedener OC-Pools bezüglich Quantität und Qualität bei bekannter Dauer der post-agrarischen Phase in einer Podsol- und in einer Tschernozem-Chronosequenz.

#### Material

Die Podsol-Chronosequenz befindet sich in der Süd-Taiga-Zone im europäischen Teil Russlands im Valday Gebiet (Abb. 1). Die Podsol-Chronosequenz besteht aus 5

Profilen mit der Dauer der post-agrarischen Phase 3, 20, 55, 100, 170 Jahre und einem natürlichen Podsol. Die Tschernozem-Chronosequenz erfasst aufgelassene Ackerfläche 8, 19, 37, 59 Jahre der Selbst-Restaurierung, einen Acker und einen natürlichen Tschernozem.

Abb.1: Untersuchungsgebiete der Podsol- (Valday) und Tschernozem-Chronosequenz (Kursk)



#### Methoden

Der C-N-Gehalte wurden mittels C/N/S Analysator (CHNS-Analyser Flash EA) bestimmt. Zur Isolierung aktiven und passiven OC-Pools wurden die Fraktionierungsmethoden nach Kaiser et al. (2002), Leifeld und Kögel-Knabner (2005), Steffens et al. (2009) verwendet.

#### Ergebnisse und Diskussion

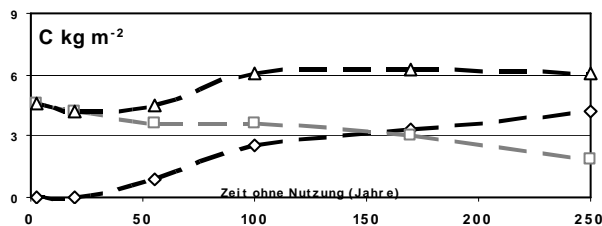
##### Die Podsol-Chronosequenz

Die Selbst-Restaurierung sandiger post-agrarischer Böden (Sand >85%, Ton ≤2%) in der Süd-Taiga-Zone geht in die Richtung Podsol mit mächtigen rohumusartigen O-Horizont unter dem Fichtenwald (Kalinina et al., 2009). Die OC-Vorräte steigen von 4,5 kg m<sup>-2</sup> bis zum 6,3 kg m<sup>-2</sup> an (Abb.2). Die Humusanreicherung beginnt durch die Auflagehorizontbildung schon nach 55 Jahren Selbst-Restaurierung. Die Humusanreicherung im Auflagehorizont kompensiert die Abnahme des OC-Vorrats im mineralischen Oberboden während der Selbst-Restaurierung.

Während der Selbst-Restaurierung bleiben die reliktschen Pflughorizonte durchgewurzelt, was im Zusammenhang mit ihren relativ stabilen OC-Gehalten steht (Tab.1).

<sup>1</sup>CvO Universität Oldenburg, PF 2503, 26111 Oldenburg, Deutschland; <sup>2</sup>Institut of Geography, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Entsprechend dem hohen OC-Gehalt (15,4 g kg<sup>-1</sup>) ist der Pflughorizont selbst nach 170 Jahren Selbst-Restaurierung sichtbar.



**Abb.2:** OC-Vorräte in den Auflagehorizonten (◇), in der Tiefe 0,2m mineralischer Oberboden (□) und in den Auflagehorizonten und im mineralischen Oberboden (△) in der Podsol-Chronosequenz.

**Tab.1:** OC-Gehalte (TOC) und C/N-Verhältnisse im Oberboden in der Podsol-Chronosequenz.

Horizont	Tiefe cm	OC-Gehalt		C/N
		g kg <sup>-1</sup>		
<b>3 Jahre</b>				
Ah	10(12)	23.7	15.6	
Ap1	22	19.6	15.1	
Ap2	33	19.1	16.5	
Ap2	40	8.1	16.6	
<b>20 Jahre</b>				
Ah	2	29.9	14.6	
Ap1	18	14.9	14.1	
Ap2	25(28)	13.7	15.6	
<b>55 Jahre</b>				
O	2(3)+	284.0	36.4	
Ah-Ae	1	Nb	Nb	
Ap1	8	18.2	27.2	
Ap2	19	12.3	27.0	
<b>100 Jahre</b>				
O	5+	377.0	29.4	
Ae	2	36.1	28.6	
Bsh	5(9)	26.5	26.5	
Ap	20	20.0	30.3	
<b>170 Jahre</b>				
O	6+	370.0	29.4	
Ae	2	21.7	31.2	
Bsh	6	20.6	28.3	
Ap	15	15.4	41.8	
<b>Podsol</b>				
O	6+	468.0	31.8	
Ae	6(8)	20.9	38.1	
Bsh	10	26.4	35.7	
Bs	25	11.1	34.7	

**Tab.2:** OC-Gehalt in Korngrößenfraktionen in der Podsol-Chronosequenz

Horizont	Tiefe cm	OC in Korngrößenfraktionen					Ton <0.002m m
		Sand		Schluff		% von TOC	
		2.0- 0.2mm	0.2- 0.063m	0.063- 0.020m	0.020- 0.0063m		
<b>3 Jahre</b>							
Ah	10(12)	34.0	19.9	22.6	8.7	11.1	6.5
Ap1	22	36.2	16.6	23.2	6.0	14.6	7.9
Ap2	33	35.0	9.5	16.4	6.9	10.8	8.7
Ap2	40	39.1	6.5	11.1	8.2	14.1	13.1
<b>20 Jahre</b>							
Ah	2	43.2	13.7	22.8	9.5	11.5	9.2
rAp1	18	20.4	10.5	17.1	12.5	16.6	15.2
rAp2	25(28)	23.2	9.7	21.9	12.6	22.0	13.5
<b>55 Jahre</b>							
Ah-Ae	1	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb
rAp1	8	32.2	6.8	10.1	12.3	11.4	9.1
rAp2	19	24.4	7.8	15.2	21.7	13.6	13.3
<b>100 Jahre</b>							
Ae	2	45.5	3.5	25.3	7.6	13.8	9.6
Bsh	5(9)	41.3	5.1	15.2	15.3	10.9	6.8
rAp	20	39.1	6.8	17.3	24.9	9.4	7.4
<b>170 Jahre</b>							
Ae	2	51.4	4.5	14.9	9.2	14.2	8.3
Bsh	6	31.2	4.9	16.2	12.7	14.1	9.3
rAp	15	30.5	9.1	17.3	16.4	10.1	13.8
<b>Podsol</b>							
Ae	6(8)	42.8	5.3	17.2	13.7	13.0	10.7
Bsh	10	35.4	7.3	8.2	6.3	6.0	6.5
Bs	25	38.6	11.7	7.8	6.9	3.5	5.6

Nb – nicht bestimmt

Steigende C/N-Verhältnisse (Tab.1) spiegeln die Rohhumusbildung und quantitative Änderungen der organischen

**Tab.3:** OC-Gehalt und C/N-Verhältnisse in den Dichtefractionen in der Podsol-Chronosequenz.

Horizont	Tiefe cm	Freie POM in der Dichtefraktion <1.8g cm <sup>-3</sup>		An Mineralien gebundene OM (<20µm) in der Dichtefraktion >1.8g cm <sup>-3</sup>			
		% Mass e	% von TOC	C/N	% Mass e	% von TOC	C/N
<b>3 Jahre</b>							
Ah	10(12)	1.33	56.2	12.5	0.62	26.3	12.1
Ap1	22	1.11	56.6	13.4	0.62	31.7	12.2
Ap2	33	0.81	42.6	12.7	0.48	25.2	12.7
Ap2	40	0.35	42.7	15.6	0.24	30.0	11.8
<b>20 Jahre</b>							
Ah	2	2.25	75.3	14.9	0.61	20.3	13.7
rAp1	18	0.69	46.1	17.3	0.50	33.5	14.4
rAp2	25(28)	0.73	53.2	18.3	0.53	38.6	14.4
<b>55 Jahre</b>							
Ah-Ae	1	nb	nb	nb	nb	nb	nb
rAp1	8	1.13	62.0	32.2	0.54	29.6	18.9
rAp2	19	0.68	55.1	33.8	0.39	32.0	18.8
<b>100 Jahre</b>							
Ae	2	2.46	68.0	27.4	0.86	23.8	21.2
Bsh	5(9)	1.08	40.8	30.6	0.93	35.3	22.4
rAp	20	1.03	51.3	25.6	0.85	42.4	20.4
<b>170 Jahre</b>							
Ae	2	1.53	70.5	27.9	0.54	24.9	19.0
Bsh	6	1.35	65.6	32.4	0.59	28.8	19.8
rAp	15	1.05	68.3	37.6	0.49	31.8	22.8
<b>Podsol</b>							
Ae	6(8)	1.56	74.5	40.3	0.48	23.1	28.3
Bsh	10	1.03	38.9	35.7	0.85	32.2	26.5
Bs	25	0.25	22.1	38.4	0.43	38.9	22.0

nb – nicht bestimmt

Substanz im Oberboden in der Podsol-Chronosequenz wieder. Aufgrund mikrobieller N-Reutilisation im Auflagehorizont sind die C/N-Verhältnisse da enger als im mineralischen Oberboden (Tab.1). In der Dichtefraktion <1.8g cm<sup>-3</sup> (38.9 – 75.3% von TOC) und in der Sand- und Grobschluffraktion (47.4 – 79.6% von TOC) wurde ein hoher OC-Anteil gefunden (Tab. 2; 3). Das freie partikuläre organische Material (freie POM) in den o.g. Fraktionen repräsentiert den aktiven und intermediären OC-Pool mit einer Rotationszeit von 1 bis zum 100 Jahren (von Lützov et al., 2008). Die organische Substanz in der Dichtefraktion >1.8g cm<sup>-3</sup> (<20µm) und in der Feinschluff- und Tonfraktion bildet den passiven OC-Pool mit einer Rotationszeit >100 Jahre (von Lützov et al., 2008). Für die Podsol-Chronosequenz wurde keine okkludierte POM gefunden. Während der Selbst-Restaurierung wurden keine quantitative Änderung als aktiven und intermediären OC-Pool und passiven OC-Pool festgestellt. Die C/N-Verhältnisse steigen in den einzelnen Fraktionen in der Podsol-Chronosequenz (Tab.3;4). Das spricht für die qualitative Änderungen von verschiedenen OC-Pools und die neue Balance mit der Waldvegetation während der Selbst-Restaurierung. Der aktive und

intermediäre OC-Pool erreicht die neue Balance nach 55 Jahren Selbst-Restaurierung (Tab.3). Der passive OC Pool zeigt qualitative Änderungen schon nach 55 Jahren Selbst-Restaurierung (Tab. 3;4). Die neue Balance ist nach Selbst-restaurationszeit 170 Jahren noch nicht erreicht, weil die C/N-Verhältnisse in den Fraktionen, die den passiven OC-Pool präsentieren, zu diesem Zeitpunkt kleiner als im natürlichen Tschernosem bleiben.

**Tab.4:** C/N-Verhältnisse in Korngrößenfraktionen in der Podsol-Chronosequenz

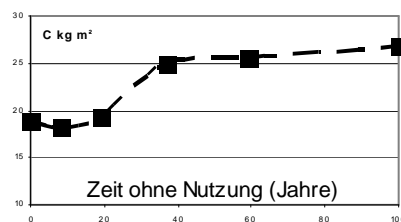
Horizont	Tiefe cm	OC in Korngrößenfraktionen					
		Sand			Schluff		Ton
		2.0-0.2mm	0.2-0.063m	0.063-0.020m	0.020-0.0063m	0.0063-0.002m	<0.002m
		% von TOC					
<b>3 Jahre</b>							
Ah	10(12)	31.4	28.8	14.0	12.9	12.0	10.7
	22	25.0	24.2	14.2	12.1	12.0	11.2
Ap1	33	34.7	nb	14.9	14.3	12.0	10.9
Ap2	40	nb	nb	23.2	14.9	12.0	9.6
<b>20 Jahre</b>							
Ah	2	21.0	24.5	16.5	13.2	12.4	8.3
rAp1	18	nb	Nb	19.0	15.5	13.5	9.2
rAp2	25(28)	nb	nb	21.3	18.0	15.5	10.1
<b>55 Jahre</b>							
Ah-	1	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb	Nb
Ae							
rAp1	8	Nb	Nb	38.9	24.2	23.8	13.2
rAp2	19	nb	nb	45.2	26.3	24.2	15.0
<b>100 Jahre</b>							
Ae	2	Nb	Nb	29.8	30.4	21.7	18.9
Bsh	5(9)	Nb	Nb	32.0	26.7	21.5	15.1
rAp	20	36.7	nb	30.9	24.0	21.6	13.7
<b>170 Jahre</b>							
Ae	2	53.1	42.8	24.0	24.4	18.5	14.8
Bsh	6	Nb	Nb	30.5	28.6	17.1	14.6
rAp	15	nb	nb	46.9	29.9	24.9	17.5
<b>Podsol</b>							
Ae	6(8)	Nb	Nb	44.6	38.0	28.5	17.7
Bsh	10	Nb	Nb	31.6	26.8	22.9	17.5
Bs	25	nb	nb	35.3	27.2	19.9	15.7

nb – nicht bestimmt

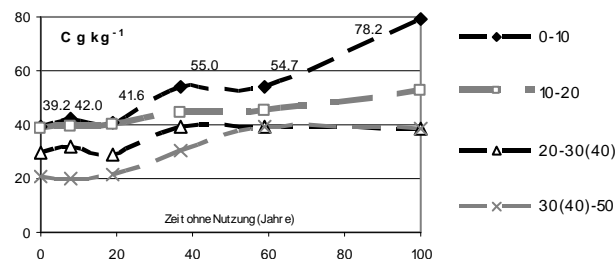
### Die Tschernosem-Chronosequenz

Nach 59 Jahre Selbst-Restaurierung erreicht die Pflanzensukzession in der Tschernosem-Chronosequenz das Klimaxstadium mit Dominanz von *Stipa pennata* und *Arrhenatherum elatius*. Die Bodenentwicklung, gekennzeichnet durch die Humusakkumulation, ist zu diesem Zeitpunkt nicht abgeschlossen. Nach 59 Jahren Selbst-Restaurierung findet ein Anstieg der Humusvorräte von 78,9% auf 95,3% statt (Abb. 3). Die OC-Gehalte in der Bodentiefe 0-0.5m steigen während der Selbst-Restaurierung an (Abb.4). Nach 59 Jahren Selbst-Restaurierung ist der OC-Gehalt in der Bodentiefe 0.2-0.5m vergleichbar mit dem natürlichen Tschernosem. In ersten 0.2m bleibt der OC-Gehalt nach 59 Jahren Selbst-Restaurierung wesentlich geringer als im natürlichen Tschernosem.

Der passive OC-Pool dominiert in der Tschernosem-Chronosequenz. Ca. 36 – 68% von TOC befinden sich in den Feinschluff-, Tonfraktionen, während der Selbst-Restaurierung ist die Tendenz einer Zunahme sichtbar (Tab.5).



**Abb.3:** OC-Vorräte in der Bodentiefe 0.5m in der Tschernosem-Chronosequenz.



**Abb.4:** OC-Gehalte in der Bodentiefe 0.5m in der Tschernosem-Chronosequenz.

Ca. 22 – 65% von TOC befinden sich in der Dichtefraktion <1.8 g cm<sup>-3</sup>, ca. 20 – 58% von TOC sind okkludierte POM. Während der Selbst-Restaurierung nimmt okkludierte POM zu. Nach 59 Jahren erreicht okkludierte POM den Stand im natürlichen Tschernosem nicht, obwohl das Krümelgefüge nach 8 Jahren Selbst-Restaurierung schon vorhanden ist.

**Tab.5:** OC-Gehalt in den Dichtefractionen <1.8g cm<sup>-3</sup> (Freie partikuläre organische Substanz (POM) und okkludierte POM) und in den Korngrößenfraktionen

Tiefe	fS	gU	mU	fU	Ton	Freie POM in der Dichtefraktion <1.8g cm <sup>-3</sup>	Okkludierte POM in der Dichtefraktion >1.8g cm <sup>-3</sup>
	2.0-0.2mm	0.2-0.063m	0.063-0.020m	0.020-0.0063m	0.0063-0.002m		
cm							
<b>Acker</b>							
10	0.003	0.02	0.04	0.17	1.40	0.12	1.69
20	0.005	0.02	0.04	0.17	1.85	0.07	1.26
40	0.005	0.01	0.02	0.15	1.30	0.03	0.88
50	0.002	0.01	0.01	0.10	1.18	0.03	0.68
<b>8 Jahre</b>							
10	0.006	0.03	0.07	0.27	1.70	0.28	1.70
20	0.004	0.02	0.06	0.23	1.61	0.10	1.46
30	0.004	0.02	Nb	Nb	1.14	0.08	1.40
55	0.001	nb	0.01	0.07	0.99	nb	0.56
<b>19 Jahre</b>							
10	0.005	0.03	0.05	0.19	1.37	0.11	2.19
20	0.007	0.04	0.07	0.20	1.62	0.04	1.18
30	0.010	0.07	0.04	0.17	1.69	0.02	0.94
50	0.020	0.07	0.06	0.15	1.36	0.01	0.71
<b>37 Jahre</b>							
10	0.010	0.09	0.10	0.40	1.88	0.30	1.92
20	0.006	0.06	0.09	0.38	1.86	0.13	1.43
40	0.005	0.03	0.04	0.32	2.35	0.06	0.77
55	0.004	0.01	0.03	0.16	1.80	0.07	0.61
<b>59 Jahre</b>							
10	0.006	0.13	0.07	0.28	1.84	0.57	2.65
20	0.004	0.07	0.07	0.24	2.16	0.10	1.90
50	0.002	0.02	0.05	0.25	2.26	0.07	1.03
<b>Steppe</b>							
10	0.020	0.09	0.08	0.63	2.42	0.60	4.05
20	0.005	0.06	0.09	0.33	2.20	0.35	1.85
60	0.002	0.03	0.03	0.16	1.46	0.15	0.95
80	0.004	0.02	0.02	0.06	0.95	0.05	0.75
120	0.007	0.07	0.08	0.15	0.74	0.04	0.51

In den jungen post-agrarischen Böden (bis 37 J.) überwiegen die wasserstabilen Makroaggregate >2mm (Ergebnisse sind nicht dargestellt). Dies ist vermutlich auf große Mengen „junges“ organisches Material zurückzuführen, dass nach der Auflassung gebildet wird und das die Makroaggregatenbildung begünstigt (Cambardella & Elliott, 1993; Jastrow, 1996). Die Rotationszeit von Makroaggregaten ist eine Funktion aus der Menge gelieferter Pflanzenresten, ihrer Umwandlungszeit, der Bodenbioaktivität sowie Frost-, Tau-, Quell- und Trocknungsprozessen (Six et al., 1999; Six et al., 2004). Wahrscheinlich haben die neu gebildeten Makroaggregate in den post-agrarischen Böden kürzere Rotationszeiten als im natürlichen Tschernosem, was die geringe okkludierte POM-Fraktion erklären würde. Dies könnte durch geringe Nachlieferung von Pflanzenresten bei relativ hoher Bodenbioaktivität und den gestörten Temperatur- und Wasserhaushalten ausgelöst werden.

## Literature

- Cambardella, C.A., Elliott, E.T. 1993. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1071-1076.
- Jastrow, J.D., 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 28, 665-676.
- Kaiser, K., Eusterhues, K., Rumpel, C., Guggenberger, G., Kögel-Knabner, I., 2002: Stabilization of organic matter by soil minerals – investigations of density and particle-size fractions from two acid forest soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 165: 451-459.
- Kalinina, O., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Lyuri, D.I., Najdenko, L., Giani, L., 2009. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics. *Geoderma.* 152, 35-42.
- Leifeld, J., Kögel-Knabner, I. 2005. Soil carbon matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use? *Geoderma.* 124, 143-155.
- Lyuri, D.I., Karavaeva, N.A., Nefedova, T.G., Konyushkov, B.D., Goryachkin, S.V., 2006. Self-Restoration of Post-Agrogenic Soils: Recent Process of Late Antropocene. Abstracts of 18th World Congress of Soil Science. Session 1.0B Soil Change in Anthropocene, 27-2.
- Lyuri, D.I., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Nefedova, T.G., Denisenko, E.A. 2008. Regularities of agricultural land withdrawal in Russia and in the world and processes of post-agrogenic development of fallows. In: A.L.Ivanov (ed.) Agroecological status and prospects of use of lands of Russia withdrawn from active agricultural rotation. Moscow. Dokuchaev Soil Science Institute, pp. 45-71. 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.
- Steffens, M., Kölbl, A., Kögel-Knabner, I. 2009. Alteration of soil organic matter pools and aggregation in semi-arid steppe topsoils as driven by organic matter input. *Eur. J. Soil Sci.* 60, 198-212.
- Vuichard, N., Ciais, P., Belelli, L., Smith, P., Valentini, R., 2008. Carbon sequestration due to the abandonment of agriculture in the former USSR since 1990. *Global Biogeochem. Cycles*, 22: GB4018, doi:10.1029/2008GB003212.
- von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., Ludwig, B., Matzner, E., Flessa, H., Ekschmitt, K., Guggenberger, G., Marschner, B., Kalbitz, K., 2008. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 111-124.
- Six, J., Elliott, E.T., Paustian, K., 1999. Aggregate and Soil Organic Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1350-1358.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K. 2004. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research.* 79, 7-31.