

Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission I/3

Titel der Tagung: Unsere Böden – Unser Leben

Veranstalter: DBG, 06.09.-10.09.2015 in München

Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)

<http://www.dbges.de>

Veränderungen der Lachgas- und Methanflüsse eines nährstoffarmen Moores im Nationalpark Harz bei fortschreitender Wiedervernässung

Nadine Tauchnitz¹, Katja Osterloh², Oliver Spott³, Sabine Bernsdorf², Ralph Meissner⁴

Zusammenfassung

Wiedervernässte Moore stellen dynamische Systeme dar, die eine hohe Mobilität gelöster organischer Kohlenstoffverbindungen (DOC) sowie hohe Methan(CH₄)-Emissionen aufweisen können. Im vorliegenden Projekt wurden die Veränderungen der CH₄- als auch Lachgas(N₂O)-Emissionen mit fortschreitender Wiedervernässung einer permanent wasserüberstauten Fläche (Rew2009) und einer parallel zu den Gasmessungen wiedervernässten Fläche mit kontinuierlichem Anstieg der Wasserstände (Rew2010) mittels geschlossener Sammelhauben untersucht. Die bisherigen vierjährigen Untersuchungen zeigten sehr hohe CH₄-Emissionen von bis zu 15,3 mg m⁻² h⁻¹ bei Rew2009. Signifikante Korrelationen wurden zwischen der CH₄-Freisetzung zu den Bodentemperaturen,

¹ Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau, Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg
nadine.tauchnitz@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de

²Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Julius-Kühn-Str. 23, 06112 Halle (S.)

³Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ, Dep. Bodenphysik, Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle

(S.), ⁴UFZ, Dep. Bodenphysik, Falkenberg 55, 39615 Altmärkische Wische

DOC- und Sauerstoff(O₂)-Gehalten und den elektrischen Leitfähigkeiten des Moorwassers ermittelt. Signifikant niedrigere CH₄-Emissionen und ein Anstieg der CH₄-Emissionen mit fortschreitender Wiedervernässung wurden bei Rew2010 nachgewiesen. Während die permanent wasser gesättigte Fläche Rew2009 negative bzw. sehr geringe N₂O-Emissionen aufwies, wurden bei Rew2010 zu Beginn der Wiedervernässung bei niedrigen Wasserständen höhere N₂O-Emissionen von im Mittel bis zu 37 µg m⁻² h⁻¹ ermittelt, die einen Zusammenhang zu den Wasserständen, Bodentemperaturen, O₂- und DOC-Gehalten im Moorwasser zeigten.

Schlüsselworte: DOC-Mobilisierung, Treibhausgasemissionen, wasserüberstaut, Wiedervernässung

1 Einleitung und Zielstellung

Intakte Moore sind entscheidende Kohlenstoff(C)-Senken. Sie speichern in ihren Torfen ca. 30 % (etwa 550 Gt) des globalen C und stellen somit den größten Speicher für terrestrischen organischen C dar (Gorham, 1991). Mit der Entwässerung von Mooren waren aufgrund einer beschleunigten Mineralisierung substantielle C- und Stickstoff(N)-Verluste von global 2-3 Gt CO₂-Äquivalenten pro Jahr verbunden (Joosten und Cowenberg, 2009). Mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und die Funktionen der Moore als wichtiger Lebensraum und Stoffsenke wiederherzustellen, wurden in den letzten 3 Jahrzehnten verstärkt Wiedervernässungsprojekte initiiert. Dabei zeigte sich in verschiedenen Untersuchungen, dass die Wiedervernässung von Mooren zu einer erhöhten Mobilisierung von Nährstoffen und DOC sowie sehr hohen CH₄-Emissionen führen kann (z.B. Wilson et al., 2009; Zak et al., 2014).

Ziel des Projektes war die Ermittlung des Einflusses der Wiedervernässung auf die CH₄- und N₂O-Emissionen eines nährstoffarmen Moores. Dabei wurden folgende Schwerpunkte berücksichtigt:

- (i) Nachweis von Veränderungen der CH₄- und N₂O-Emissionen mit fortschreitender Vernässung
- (ii) Ermittlung von Unterschieden der CH₄- und N₂O-Emissionen bei: **a)** permanentem Wasserüberstau und **b)** Schwankungen des Wasserstandes unterhalb der Geländeoberfläche sowie
- (iii) Nachweis wichtiger Steuergrößen auf die CH₄- und N₂O-Freisetzung am Untersuchungsstandort.

2 Methoden

2.1 Untersuchungsstandort

Die Gasmessungen wurden in einem gestörten Moor im Nationalpark Harz, Sachsen-Anhalt (51° 48' N; 10° 40' E), östlich des Brockens (1141 m ü. NHN) durchgeführt. Klimatisch wird das Gebiet durch ein humides Klima mit langjährigen (1961-1990) Jahresmitteltemperaturen von 5,3°C und Niederschlägen von 1278 mm/Jahr (DWD, Schierke) geprägt. Das Moor wurde bis 1990 forstwirtschaftlich genutzt und aufgrund der damit verbundenen Entwässerung stark gestört. Bodenkundlich ist das Moor in den gestörten Bereichen als Normerdhochmoor bis Übergangserdmoor anzusprechen. Die Vegetation ist charakterisiert durch Fichtenbestände sowie Kleinsiegenriede (*Caricetum nigrae*), Pfeifengrasbestände, Reitgras-Torfmoos-Rasen und *Eriophorum angustifolium*-Bestände. Für die Untersuchungen wurden zwei Standorte ausgewählt, die zu unterschiedlichen Zeiten wiedervernässt wurden. Die Messstelle **Rew2009** wurde im August 2009 wiedervernässt. Charakteristisch war hier eine relativ schnelle Vernässung mit Wasserüberstau der Flächen, die zu einem kurzfristigen Absterben der Vegetation und längerfristig zu Vegetationsveränderungen führte. Die Messstelle **Rew2010** wurde parallel zu den Gasmessungen mit Beginn im Juni 2010 wiedervernässt. Mit der Wiedervernässung war ein kontinuierlicher Anstieg der Wasserstände, aber kein permanenter Wasserüberstau verbunden.

2.2 Gasprobenahme und Analytik

Für die Ermittlung der CH₄- und N₂O-Emissionen wurden nicht-transparente geschlossene Sammelhauben (Durchmesser: 30 cm, PE, n=5) verwendet. Die Gasprobenahme erfolgte in 14-tägigen Abständen im Zeitraum 10.06.2010 bis 28.10.2014. In Zeiten mit geschlossener Schneedecke wurden keine Proben entnommen. Ein Probenahmezyklus betrug pro Messtermin jeweils 2 h mit 20 minütigen Abständen, in dem der lineare Anstieg der Gaskonzentrationen in den Sammelhauben ermittelt wurde (ΔC_t in $\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Die Proben wurden auf ihre Konzentrationen an N₂O, CH₄ und CO₂ mittels GC (Shimadzu) und ECD sowie FID nach Segschneider et al. (1996) analysiert. Zur Interpretation der Gasflüsse wurden parallel zu den Gasmessungen die Bodentemperaturen (5, 10 cm Tiefe), Wasserstände, O₂-Gehalte, Redoxpotentiale, pH, elektrische Leitfähigkeiten (LF), Stickstoff-Parameter, DOC, gelöste CH₄- und N₂O-Konzentrationen des Moorwassers erhoben.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Klimatische und hydrologische Parameter

Im Untersuchungszeitraum wurden im Mittel 1177 mm Niederschlag und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 6,0 °C erfasst (Tab. 1). Die Messstellen Rew2009 und Rew2010 unterschieden sich signifikant hinsichtlich ihrer Wasserstände ($p < 0,05$, $n = 5$). Bei der Messstelle Rew2009 wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum Wasserstände oberhalb der Geländeoberfläche erfasst (Tab. 1).

Tabelle 1: Klimatische und hydrologische Parameter

Jahre	Niederschlag [mm]	Lufttemp. [°C]	Wasserstand [cm GOK]					
			Rew2009			Rew2010		
			MW	Min	Max	MW	Min	Max
2010	1428	4,6	+2,9	+1,9	+3,5	-3,0	-8,8	+0,5
2011	974	6,8	+3,0	+1,4	+4,3	-11,7	-33,0	-2,1
2012	1131	5,9	+2,5	+1,3	+3,3	-7,7	-21,0	+0,3
2013	1152	5,3	+3,2	+2,1	+3,7	-2,4	-12,0	+0,8
2014	1202	7,3	+4,3	+3,4	+4,9	-1,8	-4,0	+0,8
MW	1177	6,0	+3,2			-5,4		

GOK: Geländeoberkante, MW: Mittelwert

Demgegenüber wurden bei Rew2010 niedrigere Wasserstände unter Geländeober-

fläche und ein ansteigender Trend der Wasserstände mit fortschreitender Wiedervernässung im Untersuchungszeitraum beobachtet.

3.2 CH₄-Emissionen

Sehr hohe mittlere CH₄-Emissionen im Bereich von 3,5 (2012) bis 15,3 mg C m⁻² h⁻¹ (2010) wurden bei Messstelle Rew2009 erfasst (Tab. 2). Auffallend war eine sehr hohe Streuung der CH₄-Freisetzung zwischen den Wiederholungen, die auch in anderen Studien bestätigt wird (Aerts and Ludwig, 1997). Vergleichbar hohe CH₄-Emissionen wurden ebenfalls in anderen Wiedervernässungsprojekten ermittelt und auf eine kurzfristige hohe Verfügbarkeit leicht abbaubarer organischer Substanz zurückgeführt, welche aus dem rapiden Absterben der Vegetation bei Überstau der Flächen resultiert (Wilson et al., 2009; Zak et al., 2014).

Tabelle 2: CH₄-C-Emissionen bei Rew2009 und 2010

	Jahre	Rew2009			Rew2010		
		MW	SD	K-W ¹	MW	SD	K-W ¹
CH ₄ -C [mg m ⁻² h ⁻¹]	2010	15,29	20,8	a	0,12	0,2	a
	U ²	a			b		
	2011	6,16	7,0	a	0,20	0,2	b
	U ²	a			b		
	2012	3,47	4,1	a	0,63	1,1	a
	U ²	a			b		
	2013	4,86	3,4	a	1,91	3,5	bc
	U ²	a			b		
	2014	5,0	3,7	a	7,50	12,8	c
	U ²	a			a		
	MW	7,0	7,8		2,1	3,6	

K-W: Kruskal-Wallis-, U: Man-Whitney-U-Test (p<0,05), unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede ¹zwischen den Untersuchungsjahren und ²zwischen den Messstellen, MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Die CH₄-Emissionen zeigten bei Rew2009 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untersuchungsjahren. Im Vergleich dazu war bei Rew2010 mit ansteigenden Wasserständen ein zunehmender Trend der CH₄-Emissionen zu beobachten (Tab. 2). Während in den Untersuchungsjahren 2010 bis 2013 die Messstelle Rew2010 eine signifikant niedrigere CH₄-Freisetzung von im Mittel 0,1 bis 1,9 mg C m⁻² h⁻¹ im Vergleich zu Rew2009 aufwies, waren 2014 mit Erreichen hoher Wasserstände nahe der Geländeoberfläche bei Rew2010 keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Messstellen feststellbar (Tab. 2). Die im Untersuchungszeitraum erfassten CH₄-C-Frachten lagen bei Rew2009 im

Bereich von 310 (2012) bis 814 kg ha⁻¹ yr⁻¹ (2011) und bei Rew2010 zwischen 10 (2011) bis 210 kg ha⁻¹ yr⁻¹ (2014).

3.3 N₂O- Emissionen

Die Messstelle Rew2010 zeigte innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraumes eine negative bzw. sehr geringe N₂O-Freisetzung, welche auf die hohe Wassersättigung zurückzuführen ist (Tab. 3). Geringe N₂O-Emissionen bei Mooren mit hohen Wasserständen wurden auch in anderen Studien nachgewiesen und auf eine geringe Nitratverfügbarkeit bei anaeroben Bedingungen sowie das Vorhandensein von Diffusionsbarrieren für gebildetes und im Moorwasser gelöstes N₂O zurückgeführt (z.B. Tauchnitz et al., 2015). Im Vergleich dazu wurden bei Rew2010 signifikant höhere Emissionen zu Beginn der Wiedervernässung bei niedrigeren Wasserständen beobachtet (Tab. 3).

Tabelle 3: N₂O-N-Emissionen bei Rew2009 und 2010

	Jahre	Rew2009			Rew2010		
		MW	SD	K-W ¹	MW	SD	K-W ¹
N ₂ O-N [µg m ⁻² h ⁻¹]	2010	1,2	1,8	a	26,1	25,7	b
	U ²	a			b		
	2011	-0,2	1,6	a	36,7	39,7	b
	U ²	a			b		
	2012	-3,7	4,3	a	15,3	15,9	b
	U ²	a			b		
	2013	0,2	0,9	a	31,3	39,4	ab
	U ²	a			a		
	2014	-0,2	0,9	a	-0,3	0,9	a
	U ²	a			a		
	MW	-0,5	1,9		21,8	24,3	

K-W: Kruskal-Wallis-, U: Man-Whitney-U-Test (p<0,05), unterschiedliche Buchstaben bezeichnen signifikante Unterschiede ¹zwischen den Untersuchungsjahren und ²zwischen den Messstellen, MW: Mittelwert, SD: Standardabweichung

Es wurde bereits in mehreren Studien bestätigt, dass bei Nitratverfügbarkeit eine hohe N₂O-Freisetzung aus einer plötzlichen Absenkung des Wasserstandes aufgrund der Aufhebung von Diffusionsbarrieren resultieren kann (z.B. Aerts and Ludwig, 1997; Tauchnitz et al., 2015). Signifikant niedrigere N₂O-Emissionen wurden bei Rew2010 mit fortschreitender Wiedervernässung und Erreichen kontinuierlich hoher Wasserstände nachgewiesen (Tab. 3). Die im Untersuchungszeitraum ermittelten N₂O-N-Frachten waren bei Rew2009 im Mittel der Jahre leicht negativ mit -0,03 kg ha⁻¹ yr⁻¹. Bei Rew2010 war mit jährlichen N₂O-N-Frachten von 2,5 (2011), 2,2 (2012), 1,5 (2013) und -0,01 kg ha⁻¹

(2014) ein abnehmender Trend nachweisbar.

3.4 Steuergrößen der CH₄- und N₂O-Emissionen

Signifikante Korrelationen der CH₄-Freisetzung zur Bodentemperatur in 5 und 10 cm Tiefe wurden bei Rew2009 ermittelt (Tab. 4). Eine Temperaturabhängigkeit der CH₄-Produktion und Begünstigung bei hohen Temperaturen wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen dokumentiert (z.B. Waddington et al., 2001).

Tabelle 4: Steuergrößen der CH₄- und N₂O-Emissionen

Parameter	Pearson-Korrelationskoeffizienten			
	N ₂ O [$\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$]		CH ₄ [$\mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$]	
	Rew2009	Rew2010	Rew2009	Rew2010
WT [cm GOK]	0,35	-0,37 (*)	-0,04	0,12
T _{5 cm} [°C]	-0,28 (*)	0,44 (**)	0,39 (**)	0,01
T _{10 cm} [°C]	-0,30 (*)	0,47 (**)	0,42 (**)	0,02
O ₂ [mg L ⁻¹]	0,37 (*)	-0,38 (*)	-0,44 (**)	-0,05
RP [mV]	0,22	-0,08	-0,30 (**)	0,11
NO ₃ ⁻ [mg L ⁻¹]	0,28	-0,18	-0,23	-0,16
NH ₄ ⁺ [mg L ⁻¹]	0,16	0,26	-0,26	-0,28
LF [$\mu\text{S cm}^{-1}$]	0,04	0,17	0,57 (**)	-0,40 (**)
DOC [mg L ⁻¹]	-0,16	0,49(**)	0,40 (**)	-0,11

(*): p<0,05; (**): p<0,01, WT: Wasserstand, GOK: Geländeoberkante, RP: Redoxpotential, LF: elektrische Leitfähigkeit, DOC: dissolved organic carbon

Negative Korrelationen wurden zwischen den CH₄-Emissionen zu den O₂-Gehalten und zum Redoxpotential erfasst. Dieser Zusammenhang wird auch in der Literatur bestätigt. Es ist bekannt, dass eine höhere O₂-Verfügbarkeit die CH₄-Produktion hemmt und dafür zu einer Förderung der CO₂-Produktion führt (Glatzel et al., 2004). Eine positive Korrelation wurde zwischen CH₄-Emission und DOC-Gehalten sowie LF des Moorwassers bei Rew2009 ermittelt, die auf eine Förderung der CH₄-Produktion bei höherer Verfügbarkeit von Nährstoffen und organischer Substanz hindeutet und auch in anderen Studien gefunden wurde (Wilson et al., 2009). Bei Rew2010 waren keine eindeutigen Steuergrößen der CH₄-Freisetzung nachweisbar (Tab. 4). Demgegenüber zeigte sich bei Rew2010 ein negativer Zusammenhang zwischen Wasserstand und O₂-Gehalt zur N₂O-Freisetzung, der den Einfluss sinkender Wasserstände auf die N₂O-Emissionen bestätigt. Eine positiver Zusammenhang wurde zwischen N₂O-Freisetzung und den DOC-Gehalten nachgewiesen, der auf eine Förderung der Denitrifikation durch leicht

verfügbare C-Verbindungen hindeutet und auch in anderen Untersuchungen bestätigt wurde (z.B. Moore et al., 2007). Die positive Korrelation zwischen Bodentemperatur und N₂O-Freisetzung bei Rew2010 kann vermutlich im Kontext mit einer Begünstigung der N₂O-Freisetzung bei niedrigeren Wasserständen im Sommer bei gleichweiser hohen Temperaturen gesehen werden. Bei Rew2009 waren keine interpretierbaren Steuergrößen der N₂O-Freisetzung nachweisbar (Tab. 4).

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Projekt wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) und des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (ELER) gefördert.

Literatur

- Aerts, R. and Ludwig, F., 1997: Water table changes and nutritional status affect trace gas emissions from laboratory columns of peatland soils. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 1691-1698.
- Glatzel, S., Basiliko, N., Moore, T., 2004: Carbon dioxide and methane production potentials from natural, harvested and restored sites. Eastern-Québec, Canada. *Wetlands* 24, 267-267.
- Gorham, E., 1991: Northern Peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to global warming. In: *Biotic Feedbacks in the Global Climate System: Will the Warming Feed the Warming?*, Woodwell GM, Mackenzie FT (eds.) Oxford University Press: New York, 169-186.
- Joosten, H., Couwenberg, C., 2009: Are emission reductions from peatlands MRV-able? Report, 14 pp. Wetlands International, Ede.
- Moore, T.R., Bubier, J.L., Bledzki, L., 2007: Litter decomposition in temperate peatland ecosystems: the effect of substrate and site. *Ecosystems* 10, 949-963.
- Segschneider, H.-J., Sich, I., Russow, R., 1996: Use of special configured gas chromatographic system for the simultaneous determination of methane, nitrous oxide and carbon dioxide in ambient air and soil atmosphere. *Transactions of the 9th Nitrogen Workshop*, Braunschweig, September 1996, pp. 547-550.
- Tauchnitz, N., Spott, O., Russow, R., Bernsdorf, S., Glaser, B., Meissner, R., 2015: Release of nitrous oxide and dinitrogen from a transition bog under drained and rewetted conditions due to denitrification: results from a [¹⁵N]nitrate-bromide double-tracer study. *IEHS*, DOI: 10.1080/10256016.2015.1011634.
- Waddington, J.M., Rotenberg, P.A., Warren, F.J., 2001: Peat CO₂ production in a natural and cutover peatland: implications for restoration. *Biogeochemistry* 54, 115-130.
- Wilson, D., Alm, J., Laine, J., Byrne, K.A., Farrell, E.P., Tuittila, E.-S., 2009: Rewetting of cutaway peatlands: Are we re-creating hot spots of methane emissions. *Restoration Ecology* 17, 796-806.
- Zak, D., Reuter, H., Augustin, J., Shatwell, T., Barth, M., Gelbrecht, J., McInnes, R.J., 2014: Changes of the CO₂ and CH₄ production potential of rewetted fens in the

perspective of temporal vegetation shifts. *Biogeosciences Discuss.* 11, 14453-14488.