

Einfluss von Wiedervernässungsmaßnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt eines Moores im Nationalpark Harz

Katja Osterloh^{1*}, Sabine Bernsdorf¹ und Ralph Meißner^{1,2}

Zusammenfassung

In einem entwässerten Mittelgebirgsmoor (Blumentopfmoor) im Nationalpark Harz wurden zwischen 2005 und 2010 schrittweise Wiedervernässungsmaßnahmen durchgeführt und mit einem Monitoring des Wasser- und Stoffhaushaltes in ausgewählten, differenzierten Moorentwicklungsstadien (Varianten M1-M4) sowie im Moorabfluss und Quellzufluss mit dem Ziel der Beurteilung des Erfolges der Maßnahmen im Hinblick auf eine langfristige Regeneration des Moores begleitet. Es erfolgte eine kontinuierliche Erfassung relevanter Wasserhaushalts- (Niederschlag, Moorwasserstände und Moorabfluss) und Stoffhaushaltsparameter (Sauerstoff (O₂)-gehalt, Redoxpotential (Eh), pH, elektrische Leitfähigkeit (EC), Ammonium (NH₄-N), Nitrat (NO₃-N), Phosphat (PO₄-P), gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)) im Porenwasser des Moorbodenkörpers und im Moorabfluss. Die hydrologisch-hydrochemischen Untersuchungen wurden durch Untersuchungen des Torfes (Trockenrohdichte (ρ_t), pH, EC, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P, Kohlenstoff (C) : Stickstoff (N) -Verhältnis) in den ausgewählten Moorentwicklungsstadien ergänzt.

Die Untersuchungen des Torfes ergaben Unterschiede zwischen den Varianten (M1-M4). Mit den signifikant geringsten Trockenrohdichten und höchsten C:N-Verhältnissen besitzt M1 den geringsten Störungsgrad. Aus dem Monitoring des Wasser- und Stoffhaushaltes im Bodenwasser konnte ein signifikanter Anstieg der Wasserstände in den von den Maßnahmen betroffenen Varianten (M2, M3) sowie eine Abnahme der NO₃-N-Konzentrationen im Bodenwasser der seit 2005 untersuchten Varianten (M1, M2) und im Moorabfluss infolge der Wiedervernässung durch Einleitung des Quellzuflusses (08/2009) festgestellt werden. Weiterhin wurden erhöhte PO₄-P-Konzentrationen im Bodenwasser von M1 und M2 sowie im Moorabfluss für das Jahr 2009 nachgewiesen, was auf Rücklösungsprozesse infolge der Wiedervernässung verbunden mit sinkenden Redoxpotentialen und zunehmend anaeroben Verhältnissen hindeutet. Während der DOC im Bodenwasser der wiedervernässten Variante M2 eine Zunahme der innerjährlichen Schwankungsbreite mit hohen sommerlichen Maximalwerten nach Wiedervernässung aufzeigte, wurden bei M1 und im Moorabfluss keine signifikanten Änderungen der DOC-Konzentrationen nach Wiedervernässung festgestellt.

Schlagwörter: Stickstoff, DOC, Phosphorfreisetzung, Moor, Wiedervernässung

Summary

In a drained mire in the Harz Mountains National Park rewetting measures were carried out gradually between 2005 and 2010 accompanied by investigations of water balance and nutrient budget in selected, differentiated mire stages (variant M1-M4) and in the mire outflow and inflow. The aim was to assess the success of the rewetting measures in relation to a long-term regeneration of the mire. There was a continuous recording of relevant water balance (precipitation, mire water levels, outflow) and nutrient budget parameters like oxygen (O₂) content, redox potential (Eh), pH, electrical conductivity (EC), ammonium (NH₄-N), nitrate (NO₃-N), phosphate (PO₄-P) and dissolved organic carbon (DOC) in the mire and in the mire outflow. The hydrological and hydrochemical studies were complemented by peat investigations within the differentiated mire stages (dry bulk density (TRD), pH, EC, NH₄-N, NO₃-N, PO₄-P, carbon (C): nitrogen (N) ratio).

The investigations of the peat showed differences between the variants (M1-M4). M1 had the lowest dry density and highest C:N ratio and hence the lowest degree of interference. The monitoring of water balance and nutrient budget in the soil water showed a significant rise of water levels in the variants which were affected by the rewetting measures (M2, M3) and a decrease in NO₃-N concentrations in the soil water of the variants which were studied since 2005 (M1, M2) as well as in the mire outflow due to the rewetting (since 08/2009). Furthermore, increased PO₄-P concentrations in the soil water of M1 and M2 as well as in the mire outflow were detected in 2009. That was presumably connected with re-dissolution processes together with decreasing redox potential and increasingly anaerobic conditions as a result of the rewetting. The DOC in the soil water of the rewetted variant M2 showed an increase in the intra-annual variability with high summer maximum values which was probably caused by the rewetting measures. On the other hand no significant changes in DOC concentrations were observed in M1 and in the mire outflow after rewetting.

Keywords: nitrogen, DOC, phosphorus release, mire, rewetting

¹ Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Julius-Kühn-Straße 23, D-06112 HALLE/S.

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH - UFZ, Department Bodenphysik, Dorfstraße 55, D-39615 FALKENBERG

* Ansprechpartner: Katja Osterloh, katja.osterloh@landw.uni-halle.de



Einleitung

Etwa 99 % der Moore in Deutschland wurden innerhalb der letzten 3 Jahrhunderte, insbesondere im 20. Jahrhundert abgebaut (als Brennstoff und Torfstreu, zur Bodenverbesserung und Substratherstellung), entwässert oder land- und forstwirtschaftlich genutzt und damit zerstört. Intakten Mooren kommt aufgrund ihrer Wasserspeicher- und Stoffsenkenfunktion eine bedeutende Rolle im Landschaftswasser- und Stoffhaushalt zu. Des Weiteren sind Moore Lebensraum hoch spezialisierter und seltener Tier- und Pflanzenarten und werden durch nationale und internationale Gesetzgebungen (u. a. BNatSchG, FFH-RL) geschützt. Prioritäres Ziel ist daher der Erhalt noch vorhandener intakter Moore und die Entwicklung und Verbesserung des Erhaltungszustandes gestörter, aber noch regenerationsfähiger Moore mittels geeigneter Maßnahmen. Die Wiederherstellung des mooreigenen Wasserhaushaltes, charakterisiert durch ganzjährig oberflächennahe Wasserstände, stellt dabei die Grundvoraussetzung für die Ansiedlung torfbildender Pflanzenarten, insbesondere der Torfmoose, dar (EDOM und WENDEL 1998). Mittlerweile zeugt eine Vielzahl von Wiedervernässungsprojekten von den zahlreichen Bemühungen zur

Regeneration von Moorlebensräumen (z. B. SUCCOW und JOOSTEN 2001).

In einem entwässerten Mittelgebirgsmoor (Blumentopfmoor) im Nationalpark Harz wurden Wiedervernässungsmaßnahmen durchgeführt und mit einem Monitoring begleitet. Ziel vorliegender Untersuchungen war es, (i) die Auswirkungen der Wiedervernässung auf den moorinternen Wasser- und Stoffhaushalt bei differenzierten Moorentwicklungsstadien (regeneriert, wiedervernässt, gestört) zu ermitteln, (ii) den Wasserabfluss aus dem Gebiet (Moorabfluss) zu erfassen und (iii) die Wiedervernässung im Hinblick auf eine langfristige Regeneration des Moores zu beurteilen.

Material und Methoden

Das **Untersuchungsgebiet** „Blumentopfmoor“ befindet sich in der Entwicklungszone des Nationalparks Harz im Einzugsgebiet der Holtemme in ca. 650-680 m ü. NHN und wurde bis zur Nationalparkgründung 1990 intensiv forstwirtschaftlich (Fichtenkultur) genutzt und aufgrund damit verbundener Entwässerungsmaßnahmen (Anlage von Gräben, Wegschüttungen) stark gestört. Neben kleinflächigen Resten naturnaher Moorvegetation und ausgedehnten

Tabelle 1: Charakteristik der differenzierten Moorentwicklungsstadien (Varianten M1-M4)

Merkmale	M1	M2	M3	M4
Zustand	Autogen regeneriert	Gestört, 08/2009 wiedervernässt	Gestört, 06/2010 wiedervernässt	Gestört
Standort				
- Trophie	Oligotroph	Mesotroph	Mesotroph	Mesotroph
- Mittlere Torfmächtigkeit	~ 155 cm	~ 70 cm	~ 100 cm	~ 90 cm
- Wasserstand cm GOK (¹ vor Vernässung, ² nach Vernässung)	1,3 ± 6,3	¹ -26,2 ± 11,8 ² -1,7 ± 6,2	¹ -23,2 ± 5,6 ² -7,8 ± 8,9	-26,5 ± 5,7
Vegetationsbestand	<i>Eriophorum angustifolium</i> <i>Sphagnum magellanicum</i> <i>Sphagnum fallax</i> <i>Vaccinium oxycoccus</i> <i>Drosera rotundifolia</i>	<i>Calamagrostis villosa</i> <i>Agrostis canina</i> <i>Carex canescens</i> <i>Juncus effusus</i> <i>Carex echinata</i> <i>Avenella flexuosa</i> <i>Polytrichum commune</i>	<i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Avenella flexuosa</i> <i>Molinia caerulea</i> <i>Galium saxatile</i> <i>Carex canescens</i> <i>Polytrichum formosum</i> <i>Pleurozium schreberi</i>	<i>Molinia caerulea</i> <i>Vaccinium myrtillus</i> <i>Avenella flexuosa</i> <i>Galium saxatile</i> <i>Polytrichum formosum</i>
	Kein Baumbestand	Lichtung mit vereinzelten Fichten (Pflanzung & Sukzession)	Lockerer Fichtenbestand, (Pflanzung & Sukzession)	Lockerer Fichtenbestand, Pflanzung & Sukzession)
Untersuchungszeitraum	01/2005-08/2012	01/2005-08/2012	12/2009-08/2012	05/2011-08/2012

Tabelle 2: Kennwerte des Torfs der Varianten M1-M4, Mittelwerte ± Standardabweichung im Zeitraum 2010-2012, unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten (p<0,05), *wenig Daten

Parameter	M1	M2	M3	M4
Tiefe (cm)	0-50	0-20	0-20	0-20
N	3	3	3	3
ρ_t (g l ⁻¹)	48,8 ± 5,8 (a)	197,1 ± 24,6 (b)	186,9 ± 10,5 (b)	183,8 ± 15,5 (b)
NO ₃ -N (mg 100 g ⁻¹)	0,03 ± 0,04 (a)	0,01 ± 0,01 (a)	0,005 ± 0,005 (a)	0,06 ± 0,04 (a)
NH ₄ -N (mg 100 g ⁻¹)	13,0 ± 1,9 (a)	9,9 ± 1,0 (a)	14,7 ± 7,3 (a)	5,6 ± 2,8 (a)
PO ₄ -P (mg 100 g ⁻¹)	2,3 ± 0,3 (a)	1,6 ± 0,4 (a)	1,1 ± 0,6 (a)	1,3 ± 0,2 (a)
C/N	42 ± 10 (a)	21 ± 3 (a)	23 ± 2 (a)	24 ± 3 (a)
pH	4,0 ± 0,6 (a)	3,5 ± 0,3 (a)	3,1 ± 0,4 (a)	3,0 ± 0,4 (a)
LF (µS cm ⁻¹)	91,4*	113 ± 7 (a)	97 ± 12 (a)	86 ± 12 (a)

Pfeifengrasdominanzbeständen (*Molinia caerulea*) wird die größte Fläche des Gebietes durch Fichtenforste auf feuchten bis nassen Standorten eingenommen.

Die **Wiedervernässung** erfolgte stufenweise. Begonnen wurde 2005 mit dem Einbau von Staueinrichtungen in ausgewählte Graben- und Bachabschnitte des Entwässerungsnetzes. Im August 2009 wurde ein Quellzufluss gezielt in die zu vernässende Fläche eingeleitet (TAUCHNITZ et al. 2010). Der Ort des Einlaufs des Quellzuflusses in das Gebiet wurde im Juni 2010 mit dem Ziel der Erweiterung der Vernässungsfläche abschließend korrigiert.

Für die **Wasserhaushaltsuntersuchungen** wurden die Parameter Niederschlag mit einem automatischen Niederschlagsmesser, Moorabfluss mittels Durchflussmess-einrichtung und Pegelsensor und Moorwasserstände mit Hilfe von Piezometern gemessen. Die Piezometer wurden in vierfacher Wiederholung in den Torfhorizont unterschiedlicher Moorentwicklungsstadien, im Folgenden Varianten genannt, eingebaut. Die Beschreibung und Charakteristik der Varianten kann *Tabelle 1* entnommen werden. Die Analysemethoden im Rahmen der **Stoffhaushaltsuntersuchungen** wurden bereits von OSTERLOH et al. (2011) und TAUCHNITZ et al. (2010) beschrieben.

Ergebnisse

Kennzeichnung der Niederschlagsverhältnisse im Untersuchungsgebiet von 2005 bis 2012

Das Blumentopfmoor liegt im Lee des Brockenmassivs und wies im Untersuchungszeitraum Jahresniederschläge von 1147 mm (2005), 1207 mm (2006), 2238 mm (2007), 1437 mm (2008), 1285 mm (2009), 1269 mm (2010), 927 mm (2011) und 807 mm (1.1.-31.10.2012) auf. Bezogen auf ein hydrologisches Jahr (1.11.-31.10.) fiel der überwiegende Teil (54-68%) des Niederschlages im Winterhalbjahr (1.11.-30.4.). Davon ausgenommen sind die Jahre 2007 (46%) und 2009 (42%). Das Jahr 2007 erlangte eine Sonderstellung aufgrund überdurchschnittlich hoher Niederschläge im Sommerhalbjahr. Im Jahr 2008 fielen insbesondere das nasse Frühjahr und eine anschließende frühsommerliche Trockenheit auf. Für das hydrologische Jahr 2012 sind insbesondere der sehr trockene November 2011, die anschließenden niederschlagsreichen Monate Dezember 2011 und Januar 2012 sowie die überaus trockenen Monate Februar und März 2012 auffallend.

Kennzeichnung des Torfs

Tabelle 2 zeigt die Kennwerte des Torfs der Varianten aus den Jahren 2010 bis 2012. M1 besaß die signifikant geringsten Trockenrohdichten und höchsten C:N Verhältnisse und besitzt daher den geringsten Störungsgrad. Die im Vergleich zu M1 hohen Trockenrohdichten von M2, M3 und M4 sind Resultat intensiver Mineralisation mit Torfsackungs- und Torfschrumpungsprozessen infolge der lang anhaltenden Entwässerung. M4 besitzt mit $-26,5 \pm 5,7$ cm die im Betrachtungszeitraum niedrigsten Wasserstände. Damit einher

gehen die im Vergleich höchsten mittleren $\text{NO}_3\text{-N}$ und die geringsten mittleren $\text{NH}_4\text{-N}$ Konzentrationen. Aufgrund der hohen Streuung der Messwerte sind jedoch keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der analysierten chemischen Parameter im Torf der Varianten nachweisbar.

Kennzeichnung des Moorwassers

Die Wiedervernässungsmaßnahmen, hier explizit die Einleitung des Quellzuflusses (08/2009), führten zu einem signifikanten Anstieg des Wasserstandes bis hin zu einem Wasserüberstau auf Teilflächen der betroffenen Varianten (*Abbildung 1*). In den niederschlagsarmen Sommermonaten von 2011 wurde jedoch ein Absinken der Wasserstände bei M2 und M3 bis auf -18 cm bzw. -33 cm unter Gelände beobachtet. Es zeigte sich, dass das Auftreten von Wasserstandsschwankungen trotz der durchgeführten Wiedervernässungsmaßnahmen in außergewöhnlich stark und lang anhaltenden niederschlagsarmen Zeiten nicht ausgeschlossen werden kann. Auffallende Konzentrationsänderungen im Bodenwasser infolge der Wiedervernässung zeigten die Parameter $\text{NO}_3\text{-N}$ bei den Varianten M1 und M2 mit abnehmendem Trend, $\text{NH}_4\text{-N}$ bei M2 mit abnehmendem Trend und DOC bei M2 mit zunehmender innerjähriger Schwankungsbreite und auffallend hohen Maximalwerten (73 mg l^{-1} im Juli 2010, 106 mg l^{-1} im Juli 2011). Aus der Literatur ist bekannt, dass Moorstandorte über ein hohes DOC-Mobilisierungspotential verfügen (z. B. FREEMAN et al. 2001, STROHMEIER et al. 2012). Die vergleichbar hohen $\text{NO}_3\text{-N}$ und gleichzeitig niedrigeren $\text{NH}_4\text{-N}$ Konzentrationen im Jahr 2007 (M1 und M2) sind auf die eingangs, für das Jahr 2007, aufgeführten überdurchschnittlich hohen Niederschläge, zurückzuführen. Die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen im Bodenwasser von M1 und M2 zeigten im Vernässungsjahr 2009 einen Anstieg. Die Konzentrationen gingen im weiteren Untersuchungsverlauf wieder zurück und deuten daher auf eine kurzzeitige, nicht dauerhafte Rücklösung von $\text{PO}_4\text{-P}$ infolge der Wiedervernässung hin. Im weiteren Vergleich der Varianten wies M4 entsprechend des niedrigsten Wasserstandes die signifikant höchsten mittleren EC (2011-2012: $104 \pm 12 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$, $n=15$) und M1 die niedrigsten mittleren EC (2005-2012: $44 \pm 15 \text{ } \mu\text{S cm}^{-1}$, $n=74$) auf. Die mittleren pH-Werte im Bodenwasser lagen bei $4,4 \pm 0,3$ (M1, $n=73$), $4,2 \pm 0,3$ (M2, $n=88$), $4,0 \pm 0,3$ (M3, $n=44$) und $3,8 \pm 0,2$ (M4, $n=15$) und somit bei allen Standorten im sauren Bereich.

Kennzeichnung des Moorabflusses und Quellzuflusses

Abbildung 2 zeigt die Jahreswerte ausgewählter Parameter im Moorabfluss und Quellzufluss der Jahre 2005-2012. Der Einfluss des Moorkörpers wird durch die im Moorabfluss verglichen zum Quellzufluss niedrigeren $\text{NO}_3\text{-N}$ und höheren DOC-Konzentrationen deutlich. Nach Wiedervernässung infolge der Einleitung des Quellzuflusses (08/2009) wurde im Moorabfluss ebenso wie im Bodenwasser der Varianten ein abnehmender Trend der $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentrationen festgestellt. Ebenso wurde für das Jahr 2009 die im Vergleich der Untersuchungsjahre höchste mittlere $\text{PO}_4\text{-P}$ Konzentration im Moorabfluss ermittelt. $\text{NH}_4\text{-N}$ zeigte 2009

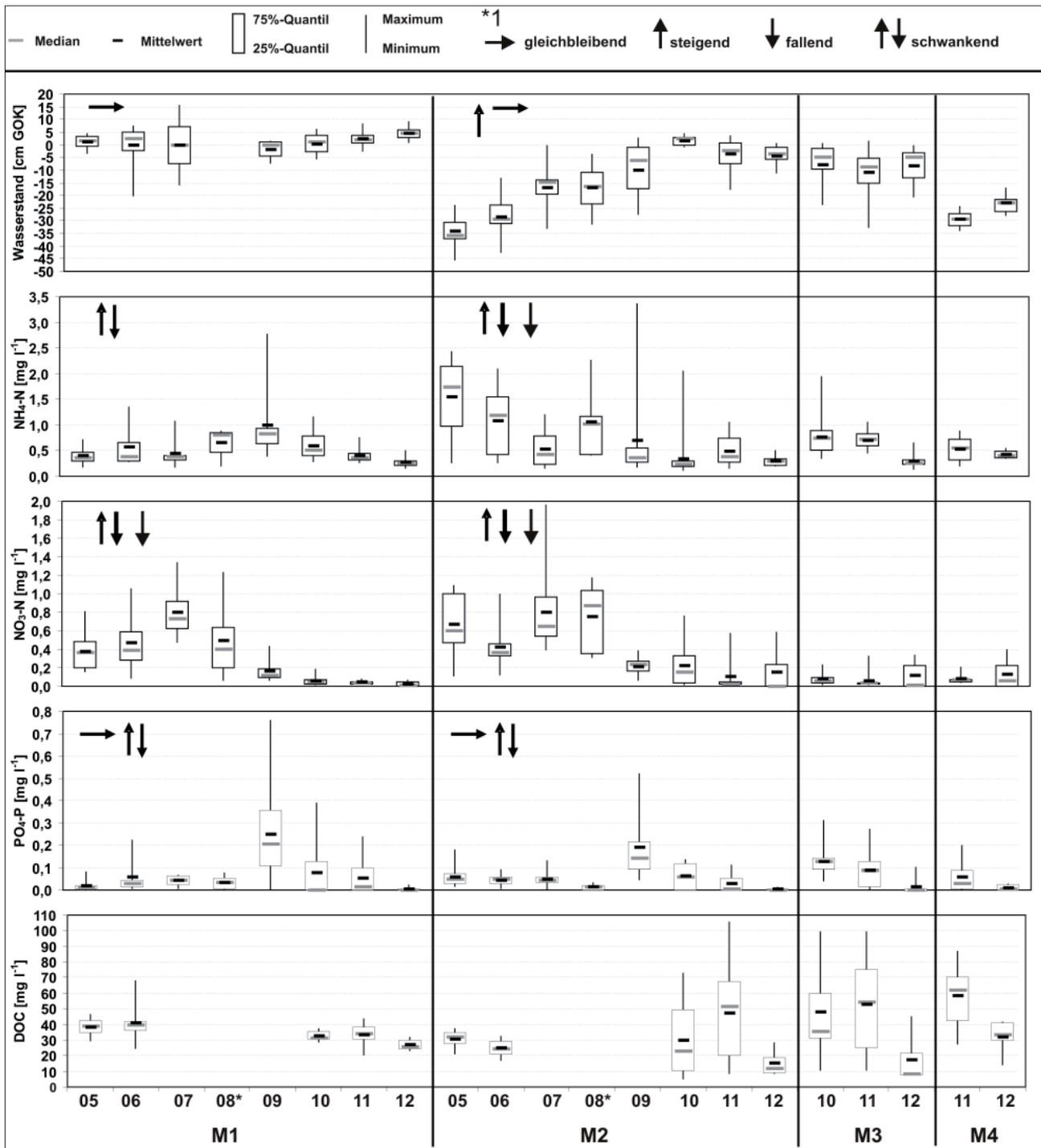


Abbildung 1: Wasserstand und ausgewählte hydrochemische Parameter der Varianten M1-M4, Jahreswerte 2005-2012, * wenig Daten, *1 Veränderungen beziehen sich auf den gesamten Untersuchungszeitraum

im Moorabfluss den im Jahresvergleich höchsten Mittelwert und die größte Schwankungsbreite. Die mittleren EC betragen im Moorabfluss $50 \pm 9 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($n=94$, 2005-2012) und im Quellzufluss $57 \pm 5 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($n=32$, 2009-2012). Die mittleren pH-Werte lagen mit $5,1 \pm 0,5$ im Moorabfluss ($n=93$, 2005-2012) und $5,2 \pm 0,5$ im Quellzufluss ($n=32$, 2009-2012) im schwach sauren Bereich.

Schlussfolgerungen

Aus den bisherigen Untersuchungen ergaben sich insbesondere folgende Fragestellungen, die es gilt im weiteren Projektverlauf zu erörtern.

- Welchen Einfluss haben klimatische Faktoren (Starkniederschläge, Trockenheit, Temperatur) auf die Dynamik,

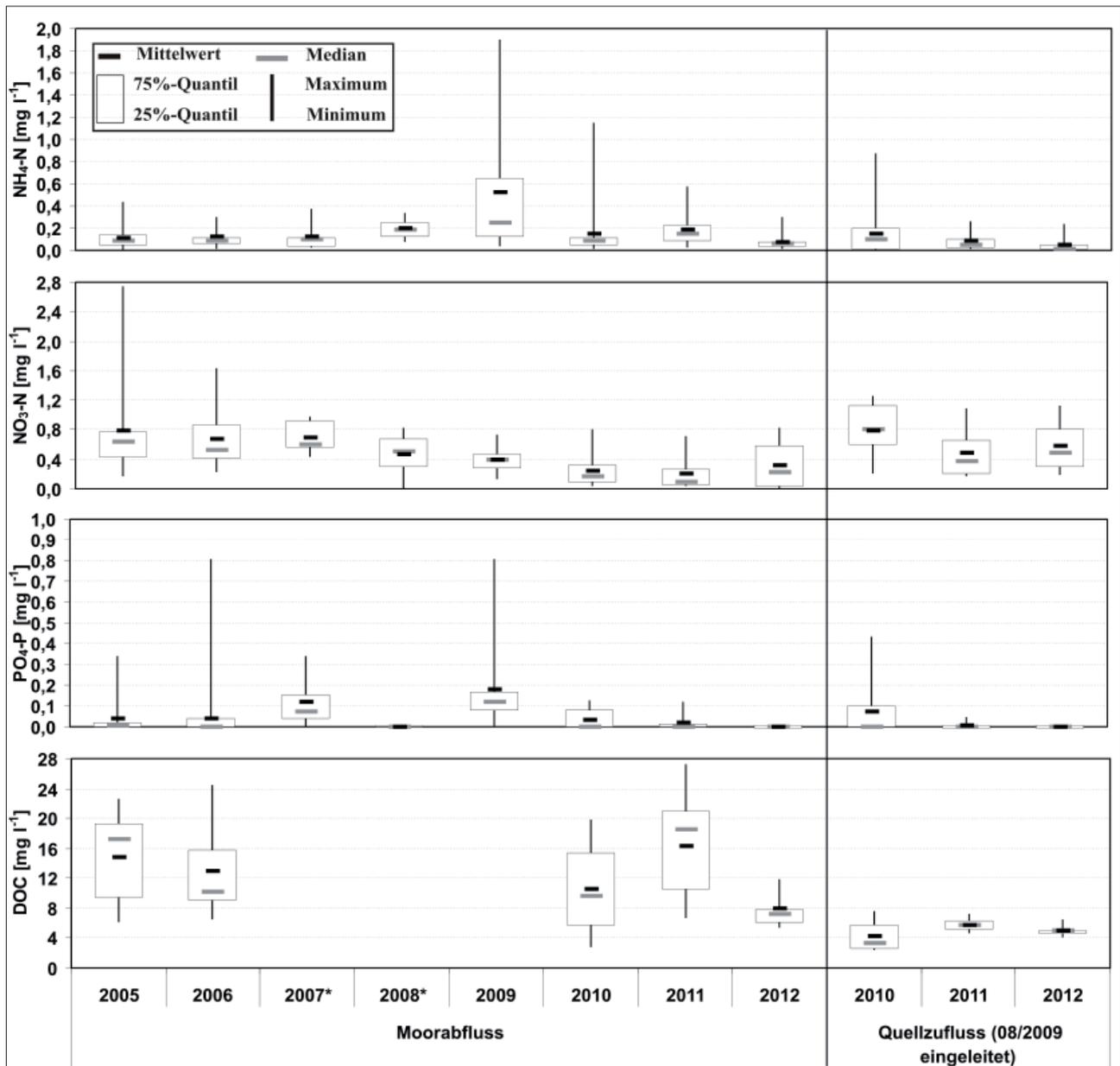


Abbildung 2: Ausgewählte hydrochemische Parameter des Moorabflusses und Quellzufflusses, Jahreswerte 2005-2012, * wenig Daten

Qualität und Quantität der DOC-Konzentrationen im Bodenwasser und im Moorabfluss des Blumentopfmoores?

- Wie hoch ist die Stofffracht (N, P, DOC) aus dem Blumentopfmoor unter dem Einfluss der Wiedervernässung und welche Dynamiken sind zu erkennen?

Danksagung

Wir danken dem Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt für die Finanzierung des Projektes im Rahmen des Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER). Ein weiterer Dank gebührt den Mitarbeitern des Nationalparks Harz für die Genehmigung und Unterstützung des Forschungsvorhabens und die praktische Umsetzung der Wiedervernässung.

Literatur

- EDOM, F. und D. WENDEL, 1998: Regeneration von hydrologischem Regime und Veränderungen der Vegetation im NSG Mothäuser Heide. Schriftenreihe der Sächsischen Akademie für Natur und Umwelt, Dresden, 3: Ökologie und Schutz der Hochmoore im Erzgebirge, 32-64.
- FREEMAN, C., C.D. EVANS, D.T. MONTEITH, B. REYNOLDS and N. FENNER, 2001: Export of organic carbon from peat soils, Nature, Vol. 412, 785.
- OSTERLOH, K., N. TAUCHNITZ, S. BERNSDORF und R. MEISSNER, 2011: Wasser- und Nährstoffdynamik eines entwässerten Moores im Nationalpark Harz nach Wiedervernässung. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung 2011; 03. - 04. Mai 2011; Raumberg-Gumpenstein (Österreich). Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irdring, 241-244.

TAUCHNITZ, N., K. OSTERLOH, S. BERNSDORF, R. MEISSNER und H.U. KISON, 2010: Veränderung der Wasser- und Nährstoffdynamik eines entwässerten Moores im Nationalpark Harz nach Wiedervernässung. TELMA - Berichte der Deutschen Gesellschaft für Moor- und Torfkunde 40, 229-244.

STROHMEIER, S., K.-H. KNORR, M. REICHERT, S. FREI, J.H. FLECKENSTEIN, S. PEIFFER and E. MATZNER, 2012: Concentrations and fluxes of dissolved organic carbon in runoff from a forested catchment: insights from high frequency measurements, Biogeosciences Discuss., 9, 11925-11959, doi:10.5194/bgd-9-11925-2012.