

TELMA	Band 41	Seite 155 - 170	9 Abb., 1 Tab.	Hannover, November 2011
-------	---------	-----------------	----------------	-------------------------

DOC-Austräge aus wiedervernässten Niedermooren – eine Fallstudie

DOC export from rewetted Fens – a case study

MICHAEL ZAUFU und JUTTA ZEITZ

Zusammenfassung

Gelöster Organischer Kohlenstoff (DOC) ist neben Kohlendioxid (CO₂) und Methan (CH₄) die größte Austragskomponente im Kohlenstoffhaushalt von Mooren. Bisher wenig betrachtet wurde das Verhalten von DOC nach Wiedervernässung von Mooren. Bekannt ist, dass die Anhebung der Wasserstände zu erhöhten Austrägen an DOC aus degradierten Mooren führen kann. In welchem Umfang diese Austräge erfolgen und welche Faktoren Einfluss auf den Austrag haben ist weitgehend unklar. Um diese Einflussfaktoren zu erfassen und bewerten zu können, werden in dieser Fallstudie drei wiedervernässte Moore betrachtet, die sich im Hydrogenetischen Moortyp, der Intensität der ehemaligen Nutzung und dem Grad der anthropogenen Pedogenese unterscheiden. Die Ergebnisse zeigen, dass Hydrologie und Genese der Moore maßgeblichen Einfluss auf den Austrag an DOC haben. Hohe Austräge an DOC in die Vorfluter nach Wiedervernässung sind vor allem aus stark degradierten, durchströmten oder überrieselten Mooren zu erwarten.

Abstract

Dissolved organic carbon (DOC) is the largest discharge component in the carbon balance of peat bogs with the exception of carbon dioxide (CO₂) and methane (CH₄). Very little attention has been devoted to the behaviour of DOC after peat bogs have been rewetted. It is already known that DOC discharges from degraded peat bogs can rise when the water level is raised. The size of this discharge and the influencing factors are however still little understood. To measure and determine the influencing factors, this case study looks at three rewetted peat bogs which differ in terms of hydrogenetic peat bog type, the intensity of the former use, and the level of anthropogenic pedogenesis. The results show that the main influence on the DOC discharge is associated with the hydrology and genesis of the peat bogs. High DOC discharge levels in receiving water courses after rewetting can mainly be expected from peat bogs affected by strong degradation, flushing or percolation.

1. Einleitung

Durch ihre herausragende Rolle als terrestrische Kohlenstoffspeicher sind Moore, insbesondere unter Aspekten des Klimaschutzes, in den Blickpunkt gekommen. Im Fokus stehen hierbei vor allem die großen Emissionen von CO_2 aus degradierten Standorten sowie die Wirkungen von Wiedervernässungen auf die gasförmigen Stoffflüsse in Mooren. Die diffusen Austragskomponenten aus Mooren unterschiedlichster Nutzung werden dabei kaum betrachtet. Insbesondere der gelöste organische Kohlenstoff (dissolved organic carbon (DOC)) ist neben den gasförmigen Verlusten (CO_2 , CH_4) die wesentliche Austragskomponente an Kohlenstoff aus Mooren (FREEMAN et al. 2001) und spielt bei der Quantifizierung des Kohlenstoffhaushaltes eine bedeutende Rolle. Die Erfassung und Erforschung von DOC findet vor allem in Großbritannien und Skandinavien Beachtung, denn dort konnten in den vergangenen Jahren erhöhte Frachten an DOC aus Moorlandschaften in die Flüsse beobachtet werden. Diese erhöhten Konzentrationen führen unter anderem zu einer verstärkten Eintrübung der Gewässer und beeinflussen deren C-Haushalt maßgeblich (FREEMAN et al. 2001, EVANS et al. 2006).

Als mögliche Ursachen erhöhter DOC Frachten in Flüssen wird neben zunehmender Versauerung auch die Degradierung von Moorstandorten diskutiert (CLARK et al. 2009). EVANS et al. (2006) machen einen Rückgang der Sulfatbelastung der Moore durch atmosphärische Deposition für einen Anstieg der DOC-Konzentration verantwortlich. Auch die Erwärmung des Klimas wird in Betracht gezogen, da hierdurch die Oberböden der Moore im Sommer länger und tiefer trockenfallen (CLARK et al. 2009, WORRALL et al. 2004) in Folge steigender Temperaturen mit erhöhter Verdunstung. Andererseits wird darauf hingewiesen, dass aus entwässerten Mooren relativ wenig DOC ausgetragen wird (KALBITZ & GEYER 2002). Als ursächlich wird von KALBITZ (2001) die Degradierung der Oberböden angesehen, da schwer lösliche, refraktäre organische Substanzen entstehen und in den oberen, nur gering vom Grundwasser beeinflussten Bodenschichten festgelegt sind.

Wenig Beachtung fand die Rolle des DOC bisher bei der Wiedervernässung von Mooren. An einigen Standorten, insbesondere in Großbritannien und Skandinavien, ist dies in Einzelfallstudien an Hochmooren untersucht worden (ARMSTRONG et al. 2010, WALLAGE et al. 2006). Aus renaturierten Mooren werden erhöhte Frachten ausgetragen. BÖHM (2006) konnte an thüringischen Hochmooren zeigen, dass die Wiedervernässung erhöhte Frachten an DOC zur Folge haben kann. In dieser Arbeit weist BÖHM (2006) darauf hin, dass der Zustand der Oberböden eine wichtige Rolle spielt. Aus stark degradierten Standorten wird erheblich mehr DOC ausgetragen. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Mineralisierung der obersten Torfschichten ein großer Pool an DOC entsteht, welcher bei einem dauerhaften Anheben der Wasserstände mobilisiert werden kann. Aufgrund relativ schwerlöslicher organischer Bestandteile wird davon ausgegangen, dass auch mehrere Jahre nach einer Vernässung DOC in erhöhtem Maße ausgetragen werden kann (GLATZEL et al. 2003, LUNDIN & LODE 2004). So wurden aus renaturierten Mooren erhöhte Frachten 2 bis 4 Jahre nach Wiedervernässung nachgewiesen (LUNDIN & LODE 2004). WALLAGE et

al. (2006) stellten fest, dass bereits drei Jahre nach Wiedervernässung eines Niedermooses die DOC Konzentrationen niedriger waren als am benachbarten nicht vernässten Standort und auch niedriger als an natürlichen Standorten.

Der Einfluss des Abflusses auf die DOC-Fracht aus Mooren ist an einigen Standorten in Großbritannien untersucht worden (CLARK et al. 2008). Dabei wurde festgestellt, dass hohe Abflüsse zwar hohe Frachten an DOC bedingen, es aber auch zu Verdünnungseffekten kommen kann. Darin unterscheiden sich Moore von z.B. humusreichen Gleyen, denn bei diesen hatten erhöhte Abflüsse zumeist auch höhere DOC-Konzentrationen zur Folge (CLARK et al. 2008). Allerdings muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die Untersuchungsergebnisse an Mooren in Großbritannien nicht unbedingt auf hiesige Verhältnisse übertragen werden können. Zum einen unterscheiden sich die klimatischen Bedingungen (hier vor allem die Niederschlagsmengen) als auch die Moortypen zwischen Großbritannien und Nordostdeutschland erheblich.

Auf den britischen Inseln dominieren Hochmoore, in Nordostdeutschland kommt dieser Moortyp nur selten (im Küstenraum) vor, da hier die Niederschlagsmenge zur Bildung von Hochmooren in der Regel nicht ausreicht (WASSEN & JOOSTEN 1996).

Nordostdeutschland ist durch das Vorkommen von Niedermooren geprägt, die sich in unterschiedlichen Typen ausgebildet haben (SUCCOW & LANGE 1984, JOOSTEN & CLARKE 2002). Untersuchungen zum DOC-Austrag aus Niedermooren in Deutschland wurden bisher von GLATZEL et al. (2003), KALBITZ (2001), KALBITZ & GEYER (2002), HÖLL et al. (2009) und TIEMEYER et al. (2010) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien lassen keine einheitlichen Schlussfolgerungen zu. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass es Unterschiede zwischen einzelnen (auch natürlichen) Mooren in Bezug auf den Austrag an DOC gibt und diese nicht immer mit Nutzung oder Wiedervernässung erklärt werden können (BÖHM 2006, ZAK et al. 2004). In der hier präsentierten Arbeit wird von der Grundhypothese ausgegangen, dass die Degradation der Böden durch Entwässerung, die Genese und die Hydrologie der Moore maßgeblichen Einfluss auf den Austrag an DOC aus Mooren haben. Die hier vorgestellte Fallstudie hat zum Ziel, den Einfluss der Faktoren Nutzungsgeschichte, Hydrogenetischer Moortyp sowie Pedogenese auf den Austrag an DOC an drei wiedervernässten Mooren zu bewerten.

2. Untersuchungsgebiete

Um das Ziel der Fallstudie zu erreichen, wurden Moore ausgewählt, die zum gleichen Zeitpunkt wiedervernässt wurden, sich aber in Hydrologie, Genese bzw. Nutzungsgeschichte und Zustand der Böden unterscheiden. Die Moore liegen räumlich eng beieinander und im gleichen Naturraum.

Die drei Untersuchungsgebiete liegen in Nordostdeutschland in unmittelbarer Nähe der Nord-Ostsee-Wasserscheide im Vorland der Haupteisrandlage des Pommerschen Stadiums der Weichseleiszeit. Zwei der Untersuchungsgebiete befinden sich im Müritz-Nationalpark und wurden im Zuge des EU-Life Projektes Zootensee-Niederung im Jahr 2004 wiedervernässt. Das dritte Untersuchungsgebiet befindet sich im Naturpark Uckermärkische Seen und wurde ebenfalls im Jahr 2004 wiedervernässt. Die unterirdischen Einzugsgebiete aller Untersuchungsgebiete sind nahezu vollständig bewaldet. Ausnahmen stellen nur einzelne Standgewässer dar.

Die klimatischen Bedingungen der Untersuchungsgebiete sind nahezu identisch. Die jeweils nächstgelegene Messstelle des DWD ist Neustrelitz. Das langjährige Mittel des Niederschlags der DWD Messstation in Neustrelitz beträgt 582 mm/a, die Jahresdurchschnittstemperatur 8,2 °C. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich über die Jahre 2006 und 2007. Die Temperaturen der Jahre 2006 und 2007 liegen mit Mittelwerten von 9,1 °C und 9,4 °C deutlich über dem langjährigen Mittel. Das Jahr 2006 war mit einer Jahressumme von 421 mm/a Niederschlag sehr trocken. Mit 812 mm/a war 2007 hingegen das Jahr mit den höchsten Niederschlägen seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Neustrelitz (1930). Ein Großteil der Niederschläge 2007 fiel in den Monaten Mai bis September (523 mm), wobei allein auf den Juni 181 mm entfielen.

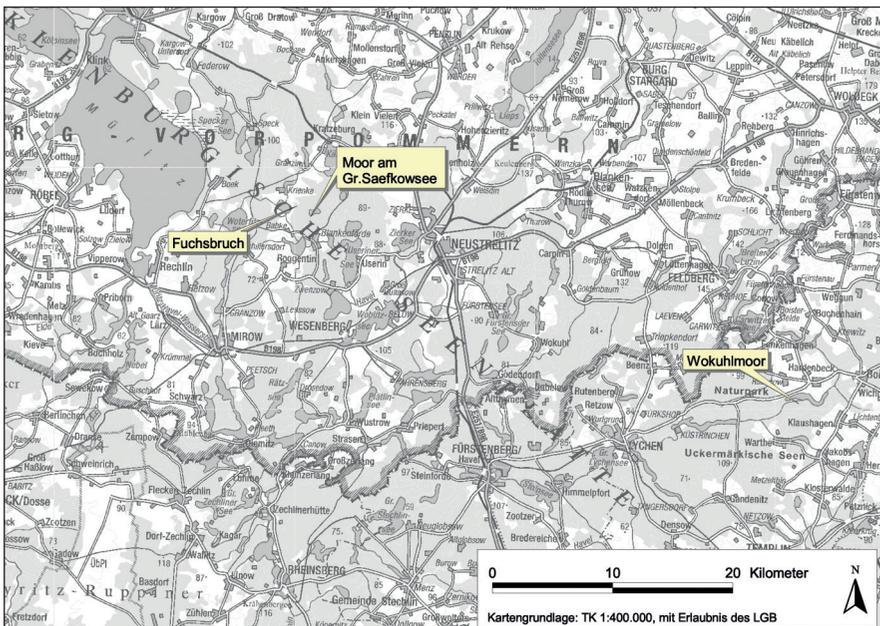


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete
Position of the study sites

Das Fuchsbruch

Das Fuchsbruch hat eine Gesamtfläche von 280 ha und ist ein typisches Verlandungsmoor. Durch die intensive Entwässerung wurden die Oberböden stark vermulmt. Die Torfe weisen mittlerweile nur noch Mächtigkeiten von 40 bis 70 cm auf. Die nur noch in geringem Maße vorhandenen mäßig zersetzten Torfe unter dem Vermulmungs- und Aggregierungshorizont sind überwiegend Seggentorfe mit Zersetzungsgraden zwischen 5 und 7 nach VON POST (1924). Darunter liegen bis zu 5,0 m mächtige Kalkmudden, an deren Basis teilweise Laacher Tuff liegt. Ein Großteil der Fläche des Fuchsbruches wurde intensiv als Grünland genutzt. Im südlichen Bereich sowie um den Tannensee sind aber auch Bruchwälder vorhanden. Im Zuge des EU-Life Projektes Zootensee-Niederung wurde der ursprüngliche Gewässerverlauf teilweise wiederhergestellt und die Wasserstände im Fuchsbruch angehoben.

Die Saefkowseerinne

Das nähere Betrachtungsgebiet ist die 68 ha große Moorfläche südwestlich des Großen Saefkowsees. Dieses Moor ist Teil einer Rinne mit mehreren vermoorten Becken und Restseen. Das Moor ist ein Durchströmungs- über einem Verlandungsmoor. Die Torfe weisen hier Mächtigkeiten von bis zu 3,0 m auf, darunter sind bis über 6,0 m mächtige Kalk- und geringmächtige Organomudden anzutreffen. In diesem Teil dominieren unter den degradierten Oberböden Mischtorfe aus Braunmoosen und Seggen sowie Grobseggen-Schilftorfe mit Zersetzungsgraden zwischen 3 bis 5 nach VON POST (1924). Der westlichste Teil ist ein Versumpfungsmoor. Hier fehlen die Muddeunterlagerungen, die Torfe sind deutlich höher zersetzt als im Durchströmungs-/Verlandungsmoor, es dominieren Schilf- und Seggentorfe mittlerer Zersetzung (4 bis 6 nach VON POST (1924)). Aufgrund der langjährigen tiefgründigen Entwässerung sind die Oberböden des gesamten Moores überwiegend vermulmt. Darunter sind flächig Aggregierungshorizonte mit Mächtigkeiten bis zu 20 cm anzutreffen.

Das Wokuhlmoor

Das südlich des Haussees bei Hardenbeck gelegene knapp 10 ha große Wokuhlmoor ist ein Komplex aus Quell-, Durchströmungs- und Verlandungsmooren. Es besteht aus zwei kleineren Becken, in denen die organogenen Ablagerungen Gesamtmächtigkeiten von jeweils über 10,0 m erreichen. Zwischen diesen Becken hat sich ein kleines, eutrophes Durchströmungsmoor über dem Verlandungsmoor gebildet. Im Ostteil des Moores existiert auch heute noch ein 1 ha großer Restsee, welcher von randlichen Druckwasserquellmooren umgeben ist. Die Torfe erreichen Mächtigkeiten bis zu 4,0 m und sind von mächtigen Kalk- und Organomudden unterlagert. Es dominieren Erlenbruchwaldtorfe, vereinzelt treten auch kalkreiche Schilf- und Grobseggentorfe auf. Die Torfe sind durchweg mittel bis hoch zersetzt (H5-H8), was durch Quellaustritte in den Randbereichen bedingt wird.

Detaillierte Informationen zu dem seit mehreren Jahrhunderten anthropogen veränderten Wasserhaushalt rund um den Haussee findet man bei DRIESCHER (2003). Die Oberböden wurden in Folge der Entwässerung degradiert und sind überwiegend vererdet. Im Zentrum blieben aber kleinere Bereiche mit nahezu unbeeinflussten Torfen erhalten.

3. Methoden

Zu Beginn der Untersuchungsperiode wurden Transsekte abgebohrt, um Mächtigkeit und Stratigraphie der Moore zu erfassen. Anschließend wurden an repräsentativen Standorten gestörte und ungestörte Bodenproben genommen. Die Entnahme von ungestörten Bodenproben in den wiedervernässten und somit teilweise überstauten Flächen erfolgte mit einem speziellen Bohrgerät. Die Anlage von Profilgruben war aufgrund der hohen Wasserstände nicht möglich. An den ungestörten Bodenproben wurden Trockenrohddichte sowie C_{org} und N mit Hilfe eines CNS-Analyzers der Firma VARIOMAX bestimmt, an den gestörten Bodenproben die pH-Werte nach DIN 19684, Teil 1.

Am Abfluss, im Bereich des Überganges vom Moor zum Mineralischen, wurden in den Vorflutern einmal monatlich Abflussmessungen durchgeführt und Wasserproben entnommen. Für die Abflussmessungen der relativ kleinen Vorfluter wurde die Tracer-Methode auf Basis von NaCl verwendet. Diese Methode basiert auf dem Prinzip, dass durch die Zugabe einer definierten Menge NaCl die Leitfähigkeit im Gewässer kurzzeitig erhöht wird. Über eine definierte Fließstrecke von 10 m wird das gelöste NaCl mit dem Wasserkörper vermischt. Die Erhöhung der Leitfähigkeit und deren Dauer werden gemessen. Daraus ergibt sich eine Kurve erhöhter Leitfähigkeit, aus der sich die Abflussmenge bestimmen lässt. Für diese Messmethode wurde der FLOW-TRACER™ der Firma Flow-Tronic genutzt, der die Leitfähigkeit kontinuierlich misst und die Berechnung der Abflussmenge selbstständig durchführt. Die Beprobung und Abflussmessung aller Messstellen erfolgte am gleichen Tag. Die Wasserproben wurden mit einem 45 µm-Filter gefiltert und anschließend mit einem LIQUITOC-Analyser analysiert. Aus den Ergebnissen der Abflussmessungen und der DOC-Konzentrationen wurden für die Beprobungstage Frachten an DOC berechnet.

4. Ergebnisse und Diskussion

Die Entwässerung der untersuchten Moore bedingt eine Veränderung der TRD (TRD = Trockenrohddichte) in den Oberböden. Die Standorte Fuchsbruch und Saefkowsee weisen in den Oberböden TRD von 0,25-0,58 g/cm³ (Fuchsbruch, N = 3) bzw. 0,31-0,63 g/cm³ (Saefkowsee, N = 5) auf. Dies sind Werte wie sie auch in anderen hoch degradierten Mooren anzutreffen sind (ZEITZ & VELTY 2002). Das geringer entwässerte Moor Wokuhl weist in den Oberböden TRD von 0,15-0,33 g/cm³ (N = 4) auf. Die Veränderung der TRD

geht einher mit einer Veränderung des Gesamtporenvolumens und einem Verlust an Grob- und Mittelporenvolumen. Dies führt zu einer Verringerung der Wasserleitfähigkeit der Oberböden (ZEITZ 2001) und beeinflusst das Abflussverhalten der Moore. In den tieferen Schichten zwischen 40-100 cm liegen die TRD an allen Standorten zwischen $0,13-0,24 \text{ g/cm}^3$, was naturnahen Bedingungen entspricht (ZEITZ 2001).

Alle drei Moore sind subneutral (SUCCOW & STEGMANN 2001). Die pH-Werte liegen in allen untersuchten Bodenproben zwischen 5,4-6,7 (N = 30). Das C/N-Verhältnis liegt in den Oberböden zwischen 11-20, was nach SUCCOW & STEGMANN (2001) eutroph ist. In den Unterbodenhorizonten ab 40-150 cm Tiefe sind die C/N-Verhältnisse 16-28, was leicht eutrophe bis mesotrophe Standortverhältnisse anzeigt. Dieses Muster ist für entwässerte Moore typisch, da mit der Mineralisierung der Torfe im Oberboden eine Verengung des C/N-Verhältnisses einhergeht (SUCCOW & STEGMANN 2001).

In ihren hydrologischen Eigenschaften unterscheiden sich die drei Untersuchungsgebiete. Dies zeigt sich vor allem in Unterschieden im Abflussverhalten der Standorte (Tab.1). Gemeinsam ist allen Standorten, dass es bei sehr langen Trockenphasen, hier insbesondere im Jahr 2006, zu einem völligen Erliegen des Abflusses in den Sommermonaten kommt. Ursächlich ist hier neben der Trockenheit die sehr hohe Verdunstung der Moorflächen. Auf den geneigten Mooren Wokuhl und Saefkowsee führen Niederschläge schnell wieder zu einem Abfluss.

Tab. 1: Abfluss aus den Untersuchungsgebieten
Discharge from the study sites

Untersuchungsgebiet	Mittel l*s⁻¹	N	Min l*s⁻¹	Max l*s⁻¹	SD
Fuchsbruch	14,2	24	0,0	55,0	15,5
Saefkowsee	32,4	24	0,0	143,0	31,7
Wokuhl	4,1	24	0,0	12,0	2,7

Das stark quellige Wokuhlmoor schüttet über das Jahr relativ konstant. Nur in sehr langen Trockenphasen wie im Sommer 2006, wenn die Verdunstung die Nachlieferung von Grundwasser übersteigt, versiegt der Abfluss. Das Moor am Saefkowsee ähnelt in seinem Abflussverhalten dem Wokuhlmoor. Es reagiert aber schneller auf Niederschläge, da das Moor am Saefkowsee aufgrund der starken Degradierung seine Oszillationsfähigkeit verloren hat und in geringerem Maße Wasser speichert. Die Kernbereiche des Wokuhlmoores, vor allem um den Restsee herum, sind noch oszillationsfähig.

Das Fuchsbruch hat im Verhältnis zu seiner Fläche (280 ha) eine geringe Abflusspende und ist stark an den Wasserstand des Havelbaches gekoppelt. Während der Sommermonate, hier speziell im sehr trockenen Sommer 2006, erfolgte monatelang gar kein

Abfluss. Grund für die Unterschiede im Abflussverhalten zwischen den Untersuchungsgebieten ist die Größe der Einzugsgebiete der Moore und der Hydrogenetische Moortyp. Das Verhältnis zwischen Grundwassereinzugsgebiet und Moorfläche beträgt beim Fuchsbruch 1:1, beim Wokuhlmoor und dem Moor am Saefkowsee 10:1. Das Fuchsbruch hat sich aus einem See zum Verlandungsmoor mit sehr geringer Neigung verbunden mit einem sehr geringen Gebietsabfluss entwickelt. Zudem stehen sehr dichte und nahezu wasserundurchlässige Kalkmudden bereits unter den degradierten Torfen an. Die anderen Moore haben sich aufgrund des größeren und konstanten Wasserdargebots aus ihren Einzugsgebieten über die Verlandungsmoorphase hinaus zu ehemals partiell durchströmten Mooren fortentwickelt. Durch die Wiedervernässung werden diese geneigten Moore flächenhaft überströmt bzw. überrieselt. Eine Durchströmung des Torfkörpers, wie in natürlichen Mooren, findet aufgrund der degradierten Oberböden nicht statt. Diese Unterschiede in der Wasserbewegung im Moor beeinflussen den Transport von DOC im Moor und somit die Fracht die aus den Mooren ausgetragen werden kann.

Im Abfluss der hoch degradierten Standorte Fuchsbruch und Saefkowsee konnten doppelt so hohe DOC-Konzentrationen wie im Abfluss des Wokuhlmoores gefunden werden (Abb. 2). Die Höhe der Konzentrationen aus dem Fuchsbruch und dem Saefkowsee sind vergleichbar mit den Ergebnissen anderer Studien (BÖHM 2006, LUNDIN & LODE 2004), während die Konzentrationen an DOC des Wokuhlmoores relativ niedrig sind.

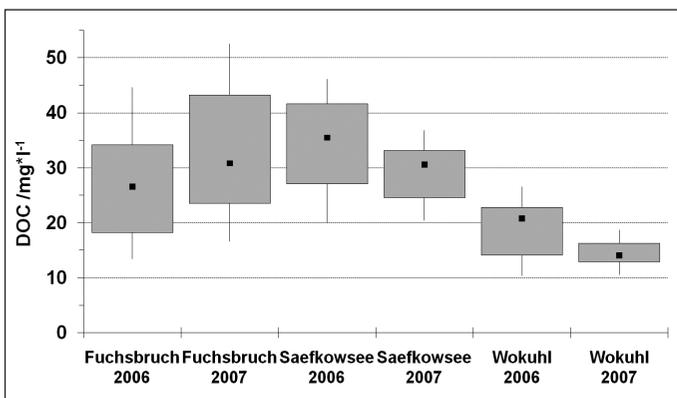


Abb. 2: Konzentrationen an DOC ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) in den Abflüssen der Untersuchungsgebiete in den Jahren 2006 und 2007 (N= 12 pro Jahr und Standort), Box-Whisker-Plot
Concentration of DOC ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) in the discharge of the study sites in 2006 and 2007 (N = 12 per year and site), Box-Whisker-plot

Die einzelnen Untersuchungsjahre unterscheiden sich stark hinsichtlich des Abflusses (Tab. 1). Im Jahr 2006 traten am Fuchsbruch geringere Konzentrationen an DOC als 2007 auf. Trotzdem konnte zwischen dem Abfluss und der DOC-Konzentration für das Fuchsbruch kein Zusammenhang nachgewiesen werden (Abb. 4). In den beiden anderen Untersuchungsgebieten waren die Konzentrationen im Jahr 2006 hingegen höher als 2007. Für diese Standorte konnte teilweise eine lineare Regression zwischen Abfluss und Konzentration im Vorfluter nachgewiesen werden (Abb. 5 und 6). Dabei fällt auf, dass diese lineare Regression im stark degradierten Standort Saefkowsee deutlich höher ist ($R^2 = 0,51$) als am Wokuhlmoor ($R^2 = 0,23$). Das Moor am Saefkowsee ist der am stärksten überströmte Standort. Offensichtlich wird auf diesem Wege DOC aus dem Moor ausgetragen. In den beiden Mooren Saefkowsee und Wokuhlmoor sind hohe Abflüsse immer mit einem Verdünnungseffekt verbunden. Dies korrespondiert mit den Ergebnissen aus Studien von CLARK et al. (2008). Durch die deutlich höheren Abflüsse im Jahr 2007 aus den Standorten Wokuhlmoor und Saefkowsee erklären sich damit auch die geringeren Konzentrationen an DOC im Jahr 2007. Am Fuchsbruch fehlen diese Verdünnungseffekte vollständig. Offensichtlich wird aus dem Fuchsbruch nur bei sehr hohen Niederschlägen und daraus resultierendem Abfluss DOC aus den Moorflächen ausgetragen.

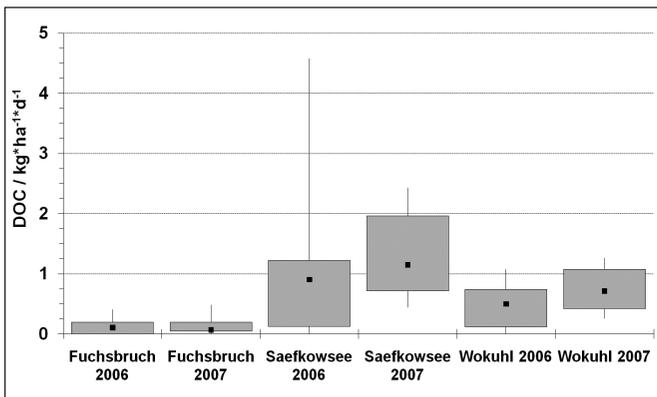


Abb. 3: Tagesfrachten an DOC ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) in den Abflüssen der Untersuchungsgebiete in den Jahren 2006 und 2007 ($N = 12$ pro Jahr und Standort), Box-Whisker-Plot
Load of DOC ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) in the discharge of the study sites in 2006 and 2007 ($N = 12$ per year and site), Box-Whisker-plot

Betrachtet man die Tagesfrachten an DOC aus den Gebieten, dann treten die Unterschiede zwischen den Untersuchungsgebieten noch deutlicher hervor (Abb. 3). Aus dem Fuchsbruch werden durchschnittlich nur $0,1 \text{ kg DOC/ha} \cdot \text{d}$ ausgetragen. Aus dem Wokuhlmoor sind es $0,7 \text{ kg DOC/ha} \cdot \text{d}$. Am Saefkowsee wurde ein durchschnittlicher Austrag von $1,2 \text{ kg DOC/ha} \cdot \text{d}$ ermittelt, wobei hier Tagesfrachten von über $4 \text{ kg DOC/ha} \cdot \text{d}$ festgestellt wurden.

Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass die Frachten aus den Einzugsgebieten nicht berücksichtigt wurden. Man kann aber aufgrund der vollständigen Bewaldung und der bis zu 20 m mächtigen Überdeckung der Grundwasserleiter von sehr geringfügigen DOC-Einträgen in die Moore aus den Einzugsgebieten ausgehen.

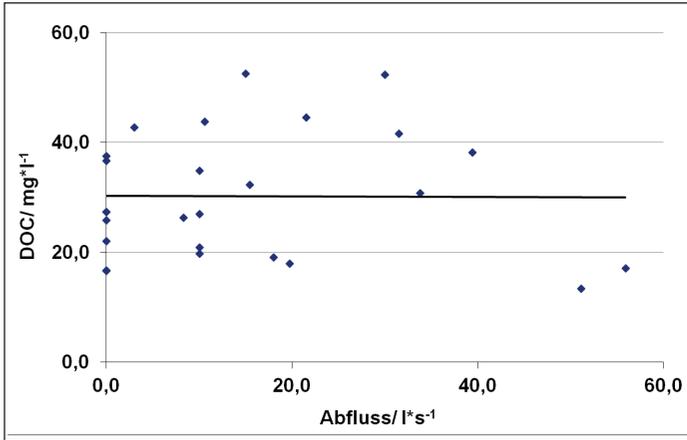


Abb. 4: DOC-Konzentration und Abfluss am Standort Fuchsbruch
DOC-concentration in the discharge of the study site Fuchsbruch

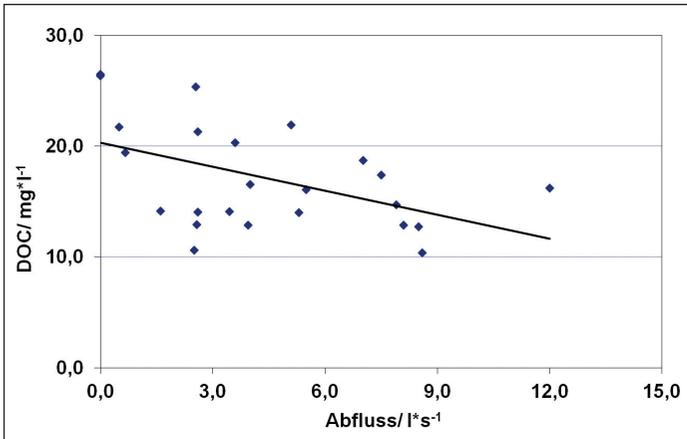


Abb. 5: DOC-Konzentration und Abfluss am Standort Wokuhlmoor
DOC-concentration in the discharge of the study site Wokuhl

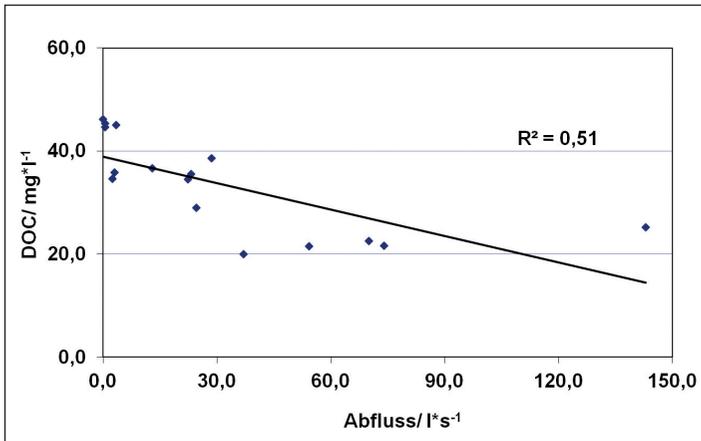


Abb. 6: DOC-Konzentration und Abfluss am Standort Moor am Saefkowsee
DOC-concentration in the discharge of the study site Saefkowsee

In der Regel stellt man Abfluss und Fracht nicht in Korrelation zueinander, da der Abfluss in die Berechnung der Fracht als Eingangsgröße eingeht. An dieser Stelle wird dies aber doch getan, da aus dieser Korrelation einige Aspekte des DOC-Austrages noch deutlicher hervortreten. Vorweg sei dazu bemerkt, dass sich eine lineare Regression ergeben sollte, wenn der Abfluss – und somit die Hydrologie des Moores – aus der Fläche die wesentliche die Fracht bestimmende Größe ist. Betrachtet man vor diesem Hintergrund die Abbildungen 7-9 so wird deutlich, dass die Hydrologie im Moor am Saefkowsee die dominierende Größe für die Fracht ist ($R^2 = 0,95$). Im Wokuhlmoor ist dies ähnlich, wenn auch etwas weniger intensiv, da $R^2 = 0,85$ auch hier die enge Kopplung zwischen Abfluss und Fracht zeigt. Im Fuchsbruch fällt hingegen diese Regression mit einem $R^2 = 0,63$ wesentlich geringer aus. Das Fließgewässer und seine Stoffdynamik sind in weit geringerem Maße an das umgebende Moor gekoppelt. Ursächlich ist hier die Stratigraphie des Moores in Verbindung mit tiefgründig degradierten Oberböden sowie die geringe Größe des unterirdischen Einzugsgebietes. Im Fuchsbruch befinden sich hoch zersetzte Torfe unmittelbar über gering durchlässigen Kalkmudden. Ein messbarer Abfluss kann an diesem Standort eigentlich nur noch oberflächlich stattfinden. Ein Oberflächenabfluss ist aber im nicht geeigneten Fuchsbruch nur bei deutlichem Überstau möglich.

Die Unterschiede in der Tagesfracht an DOC zwischen Saefkowsee und Wokuhlmoor ergeben sich aus dem Zustand der Oberböden. Die wesentlich höheren Konzentrationen im Vorfluter und somit auch höheren Frachten in kg DOC/ha*d aus dem Saefkowsee sind ursächlich in der starken Degradierung zu sehen. Der hier (auch im Gelände beobachtbare) Oberflächenabfluss kann DOC beim Überströmen der hochzersetzten Torfe direkt austragen. Der DOC-Pool ist im Porenwasser im Moor am Saefkowsee durch die De-

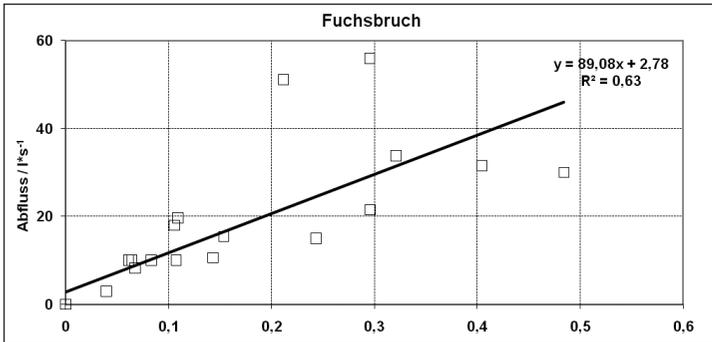


Abb. 7: Abfluss und Fracht am Standort Fuchsbruch
Discharge and load at the study site Fuchsbruch

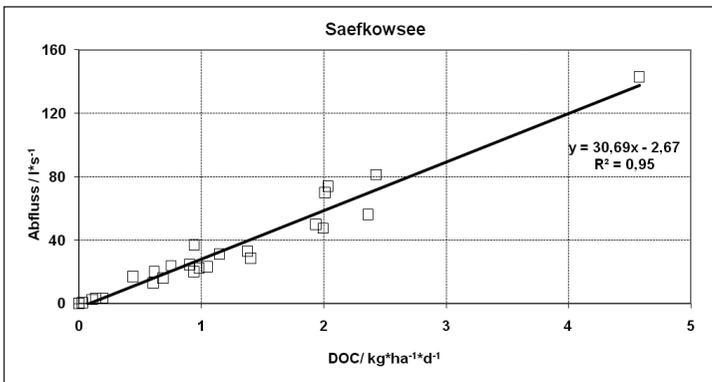


Abb. 8: Abfluss und Fracht am Standort Saefkowsee
Discharge and load at the study site Saefkowsee

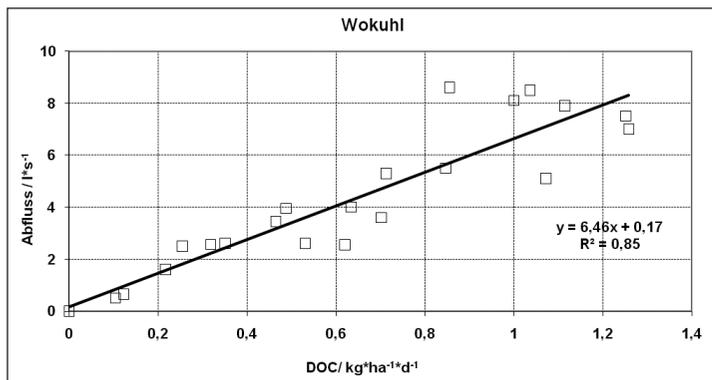


Abb.9: Abfluss und Fracht am Standort Wokuhlmoor
Discharge and load at the study site Wokuhl

gradierung der Torfe höher als im Wokuhlmoor. Im Wokuhlmoor wirken die gering gestörten Torfe offensichtlich als Puffer bzw. der Pool an DOC im Porenwasser ist deutlich geringer. Arbeiten von ZAK et al. (2004) zu Porenwassergehalten von DOC an unterschiedlich degradierten Standorten zeigen ebenfalls in diese Richtung. Sie konnten in gering gestörten Mooren wesentlich geringere DOC-Gehalte im Porenwasser finden als in hoch degradierten Mooren. Andererseits lassen sich auch so die Verdünnungseffekte, die auch von anderen Autoren (CLARK et al. 2008, WORRALL & BURT 2009) beobachtet worden sind, erklären. Hohe Abflüsse und somit verstärkter Oberflächenabfluss, der aber in der Regel mit stark verkürzten Wasseraufenthaltszeiten im Moor verbunden ist, erlauben einen nicht vollständigen bzw. geringeren Konzentrationsaustausch zwischen überströmendem Wasser und Porenwasser.

5. Schlussfolgerungen

Die hier vorgestellten Ergebnisse zeigen die Komplexität der verschiedenen Einflussgrößen auf den Austrag an DOC aus wiedervernässten Niedermooren. Hydrologie, Genese und Stratigraphie, aber auch die Pedogenese der Standorte sind maßgebliche Faktoren, welche den Austrag von DOC, aber auch von anderen Stoffen, aus Mooren beeinflussen. In den Vorflutern naturnaher Moore findet man in der Regel DOC-Konzentrationen von 5-20 mg/l (HÖLL et al. 2009), in Einzelfällen (zumeist Hochmoore) auch darüber. Im Abfluss degradiertes und wiedervernässter Standorte sind meist DOC-Konzentrationen zwischen 30-80 mg/l anzutreffen. Die hier vorgestellte Studie zeigt, dass man in Vorflutern degradiertes, wiedervernässter Niedermoore zwar höhere Konzentrationen an DOC findet, von diesen aber nicht auf die Fracht aus den Mooren schließen kann. Die aus den Mooren ausgetragene Fracht in kg/ha*d wird im Wesentlichen von der Hydrologie der Moore und ihrer Einzugsgebiete bestimmt. Die Dynamik sowie der Umfang an Stoffausträgen sind je nach hydrogenetischem Moortyp sehr unterschiedlich. Als zweite bedeutende Einflussgröße kommt der anthropogene Grad der Pedogenese hinzu, da dieser Stoffrückhalt und Abflussbewegung im (über) Moor beeinflusst und gleichzeitig auch die Höhe des verlagerten Stoffpools im Boden und Porenwasser bestimmt.

Die hier dargestellten Ergebnisse zeigen, dass bei Wiedervernässung zwar mit hohen Frachten an DOC gerechnet werden muss, diese aber nur unter bestimmten hydrologischen und pedogenetischen Gegebenheiten mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten. Stark degradierte Moore mit hoher Schüttung haben hierbei die höchste Wahrscheinlichkeit hoher DOC-Austräge. Das größte Risiko bergen Durchströmungs- bzw. Verlandungsmoore mit großem Einzugsgebiet und hoher Abflussspende. Moore ohne oder mit sehr geringer Neigung und geringer Abflussspende können zwar hohe DOC-Konzentrationen im Porenwasser aufweisen, ob jedoch real ein Austrag erfolgt, sollte im Einzelfall geprüft werden. In der Regel handelt es sich hierbei um Verlandungsmoore mit hoch anstehenden Mudden, aber auch Versumpfungsmoore können in Frage kommen. Für Wiedervernäs-

sungsprojekte, bei denen hohe Frachten an DOC unbedingt vermieden werden sollen, bietet dies den Vorteil, das Risiko an DOC-Austrägen anhand des hydrogenetischen Moortyps in Verbindung mit den pedogenetischen Ausgangsbedingungen im Vorfeld einer Vernässung abschätzen zu können.

Allerdings kann bisher nicht vorausgesagt werden, wie lange die Frachten an DOC aus wiedervernässten Mooren anhalten. Die Angaben anderer Autoren (HÖLL et al. 2009, WALLAGE et al. 2006) lassen den Rückschluss zu, dass es nur wenige Jahre dauert bis man sich natürlichen Bedingungen angenähert hat. HÖLL et al. (2009) haben 20 Jahre nach der Vernässung eines Niedermooses nahezu naturnahe Bedingungen vorgefunden. Hier und auch in anderen Landschaftsräumen und Moortypen besteht noch Forschungsbedarf. Langzeituntersuchungen, die im Vorfeld von Wiedervernässungen beginnen und einige Jahre nach diesen weitergeführt werden, können die bestehenden Forschungslücken schließen.

6. Danksagung

Für die Unterstützung der Arbeit danken die Autoren dem NaFÖG-Programm des Landes Berlin für die Finanzierung der Studie. Den Mitarbeitern des Müritz-Nationalparks und des Fördervereins „Uckermärkische Seen“ sei gedankt für die Hilfe bei der Gebietsauswahl, der Datenbereitstellung und den Arbeiten vor Ort.

7. Literaturverzeichnis

- ARMSTRONG, A., HOLDEN, J., KAY, P., FRANCIS, B., FOULGER, M., GLEDHILL, S., McDONALD, A. T. & WALKER, A. (2010): The impact of peatland drain-blocking on dissolved organic carbon loss and discolouration of water; results from a national survey. – *Journal of Hydrology* **381**: 112-120.
- BÖHM, A. K. (2006): Hochmoore im Erzgebirge – Untersuchungen zum Zustand und Stoffaustagsverhalten unterschiedlich degradiertter Flächen. – Unveröff. Dissertation, TU Dresden, 200p.
- CLARK, J. M., ASHLEY, D., WAGNER, M., CHAPMAN, P. J., LANE, S. N., EVANS, C. D. & HEATHWAITE, A. L. (2009): Increased temperature sensitivity of net DOC production from ombrotrophic peat due to water table draw-down. – *Glob. Change Biol.* **15**: 794-807.
- CLARK, J. M., LANE, S. N., CHAPMAN, P. J. & ADAMSON, J. (2008): Link between DOC in near surface peat and stream water in an upland catchment. – *Science of the Total Environment* **404**: 308-315.
- DRIESCHER, E. (2003): Veränderungen an Gewässern Brandenburgs in historischer Zeit. – *Landesumweltamt Brandenburg, Studien und Tagungsberichte* **47**: 144 S.
- EVANS, C. D., CHAPMAN, P. J., CLAR, J. M., MONTEITH, D. T. & CRESSER, M. S. (2006): Alternative explanations for rising dissolved organic carbon export from organic soils. – *Global Change Biology* **12**: 2044-2053.

- FREEMAN, C., EVANS, C. D., MONTEITH, D. T., REYNOLDS, B. & FENNER, N. (2001): Export of organic carbon from peat soils. – *Nature* **412**, p.785.
- GLATZEL, S.; KALBITZ, K.; DALVA, M. & MOORE, T. (2003): Dissolved organic matter properties and their relationship to carbon dioxide efflux from restored peat bogs. – *Geoderma* **113**: 397-411.
- HÖLL, B., FIEDLER, S., JUNGKUNST, H. F., KALBITZ, K., FREIBAUER, A., DRÖSLER, M. & STAHR, K. (2009): Characteristics of dissolved organic matter following 20 years of peatland restoration. – *Science of the Total Environment* **408**: pp.78-83.
- KALBITZ, K. & S. GEYER (2002): Different effects of peat degradation on dissolved organic carbon and nitrogen. – *Organic Geochemistry* **33**, 319-326.
- KALBITZ, K. (2001): Properties of organic matter in soil solution in a German fen area as dependent on land use and depth. – *Geoderma* **104**: 203-214.
- JOOSTEN, H. & CLARKE, D. (2002): Wise Use of Mires and Peatlands. – International Mire Conservation Group and International Peat Society, 253 p.
- LUNDIN, L. & LODE, E. (2004): Wetlands after peat cutting – impacts of water chemistry. – In: Päävänen, J. (ed.): Wise use of peatlands. – Proceedings of the 12th International Peat Congress, Vol. **1**, 391-397; Tampere.
- TIEMEYER, B. KAHLE, P. & LENNARTZ, B. (2010): Dissolved organic nitrogen (DON) losses from nested artificially drained lowland catchments with contrasting soil types. – *Geophysical Research Abstracts*, Vol. **12**.
- SUCCOW, M. & LANGE, E. (1984): The mire types of the German Democratic Republic, p. 149-175. – In: Moore, P.D. (ed.) *European Mires*; London (Academic Press).
- SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (2001): Hydrogenetische Moortypen, 317-383. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*. 2. Aufl.; Stuttgart (Schweizerbart).
- SUCCOW, M. & STEGMANN, H. (2001): Stoffliche Moorsubstratgliederung, 65-69. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): *Landschaftsökologische Moorkunde*. 2. Aufl.; Stuttgart (Schweizerbart).
- WALLAGE, Z., HOLDEN, J. & McDONALD, A. T. (2006): Drain blocking: An effective treatment for reducing dissolved organic carbon loss and water discoloration in a drained peatland. – *Science of the Total Environment* **367**: 811-821.
- WASSEN, M.J. & JOOSTEN, H. (1996): In search of a hydrological explanation for vegetation changes along a fen gradient in the Biebrza Upper Basin (Poland). – *Vegetatio*, **124**: 191-209.
- WORRALL, F., BURT, T. & ADAMSON, J. (2004): Can climate change explain increases in DOC flux from upland peat catchments? – *Science of the Total Environment* **326**: 95-112.
- WORRALL, F. & BURT, T. (2009): Changes in DOC treatability: Indications of compositional changes in DOC trends. – *Journal of Hydrology* **366**: 1-8.
- ZAK, D., GELBRECHT, J. & STEINBERG, C. E. W. (2004): Phosphorus Retention at the Redox Interface of Peatlands Adjacent to Surface Waters in Northeast Germany. – *Biogeochemistry* **70(3)**: 357-368.

ZEITZ, J. (2001): Physikalisch-hydrologische Kennzeichnung. – In: SUCCOW, M. & JOOSTEN, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde: 85-92; Stuttgart (Schweizerbart).

ZEITZ, J. & VELTY, S. (2002): Soil properties of drained and rewetted fen soils. – Plant Nutrition and Soil Science **165(5)**: 618-626.

Anschriften der Verfasser:

M. Zauft
Stiftung Naturschutzfonds Brandenburg
Zeppelinstraße 136
D-14471 Potsdam
E-Mail: michael.zauft@naturschutzfonds.de

Prof. Dr. J. Zeitz
Humboldt Universität zu Berlin
Landwirtschaftlich Gärtnerische Fakultät
Department für Nutzpflanzen und Tierwissenschaften
FG Bodenkunde und Standortlehre
Albrecht Thaer Weg 2
D-14195 Berlin Dahlem
E-Mail: jutta.zeitz@agrار.hu-berlin.de

Manuskript eingegangen am 8. Juli 2011